



## TÍTULO

**CARACTERIZACIÓN DE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA EN  
LA RED DE ESTACIONES AGROMETEOROLÓGICAS DEL  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS  
(INIA) VENEZUELA**

**CHARACTERIZATION OF DROUGHT IN THE NETWORK OF  
WEATHER STATIONS OF THE NATIONAL INSTITUTE OF  
AGRICULTURAL RESEARCH (INIA) VENEZUELA**

## AUTOR

**Barlin Orlando Olivares Campos**

	<b>Esta edición electrónica ha sido realizada en 2016</b>
Directores	Dra. Deyanira Lobo L. ; Dr. José Luis Aguado
Tutora	Dra. Deyanira Lobo L.
Asesores	Adriana Cortez ; Raquel Mayela Parra
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad de Huelva
Curso	<i>Máster Oficial en Tecnología Ambiental (2014/15)</i>
ISBN	978-84-7993-700-3
©	Barlin Orlando Olivares Campos
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2015



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
  - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
  - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- 
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
  - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
  - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

**CARACTERIZACIÓN DE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA EN LA RED DE  
ESTACIONES AGROMETEOROLÓGICAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS (INIA) VENEZUELA**

**CHARACTERIZATION OF DROUGHT IN THE NETWORK OF WEATHER  
STATIONS OF THE NATIONAL INSTITUTE OF AGRICULTURAL RESEARCH  
(INIA) VENEZUELA**

**Barlin Orlando Olivares Campos**

Trabajo fin de Master presentado para optar al grado de Master en Tecnología Ambiental  
de la Universidad Internacional de Andalucía

Palos de la Frontera, diciembre de 2015

**CARACTERIZACIÓN DE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA EN LA RED DE  
ESTACIONES AGROMETEOROLÓGICAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS (INIA) VENEZUELA**

**CHARACTERIZATION OF DROUGHT IN THE NETWORK OF WEATHER  
STATIONS OF THE NATIONAL INSTITUTE OF AGRICULTURAL RESEARCH  
(INIA) VENEZUELA**

**Barlin Orlando Olivares Campos**

Trabajo fin de Master presentado para optar al grado de Master en Tecnología Ambiental  
de la Universidad Internacional de Andalucía

**Directores:**

**Dra. Deyanira Lobo L.**  
Universidad Central de Venezuela

**Dr. Juan Luis Aguado**  
Universidad de Huelva, España

**Asesores:**

**Inv. Adriana Cortez**  
Instituto Nacional de  
Investigaciones Agrícolas

**Inv. Raquel Mayela Parra**  
Universidad Central de Venezuela

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
<b>LISTA DE CUADROS</b>	iv
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	8
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	9
Unidad de estudio.....	9
Descripción de la Red de estaciones agrometeorológicas del INIA (RAI).....	9
Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	10
Selección de las estaciones agrometeorológicas.....	10
Procedimientos aplicados para el control de calidad de datos climáticos.....	11
a. Detección de datos faltantes.....	12
b. Detección de valores extremos.....	12
c. Estadística descriptiva básica.....	12
d. Verificación de la homogeneidad de las series.....	13
e. Análisis de dispersión de las series temporales.....	13
Caracterización de la áreas agroecológicas.....	14
Determinación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI).....	14
Pasos para el cálculo de SPI.....	16
Categorización de la intensidad del SPI.....	18
Determinación de la magnitud, duración y frecuencia de ocurrencia de la sequía....	18
Estimación del índice de vulnerabilidad de la sequía.....	20
a. Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra (FT).....	20
b. Índice del balance riego/secano (IRS).....	21
c. Índice de Ruralidad (IRU).....	22
d. Índice de Intensidad de la agricultura (IT).....	22
Índice de Vulnerabilidad Agrícola (VA).....	23

Información base.....	24
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>25</b>
Características geográficas de las regiones naturales.....	25
Características climáticas.....	25
Características edafológicas.....	26
Sistemas agrícolas y usos predominantes.....	28
Caracterización de los eventos de sequía mediante el SPI.....	33
Intensidad de la sequía.....	33
Magnitud de la sequía.....	42
Categorización de la severidad de la sequía.....	47
Duración de las magnitudes máximas de las sequías.....	48
Análisis de la vulnerabilidad agrícola.....	51
Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra (FT).....	51
Índice del balance riego/secano (IRS).....	54
Índice de Ruralidad (IRU).....	56
Índice de Intensidad de la agricultura (IT).....	57
Índice de Vulnerabilidad Agrícola (VA).....	60
Algunos planteamientos para la mitigación de la sequía.....	61
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Identificación de impactos generados por las sequías.....	3
Cuadro 2. Listado de estaciones agrometeorológicas seleccionadas.....	11
Cuadro 3. Resultados de la aplicación de los procedimientos para el control de calidad de las series de precipitación de las estaciones agrometeorológicas estudiadas durante el periodo (1980-2014).....	14
Cuadro 4. Clasificación del SPI.....	18
Cuadro 5. Magnitud de la sequía.....	19
Cuadro 6. Factor de Uso de Capital y Tecnología.....	23
Cuadro 7. Información disponible para la aplicación metodológica del índice de vulnerabilidad agrícola.....	24
Cuadro 8. Características generales de las regiones naturales de Venezuela.....	25
Cuadro 9. Características climáticas de las estaciones bajo estudio ubicadas por regiones naturales.....	26
Cuadro 10. Características edáficas de los suelos representativos del área de influencia de las estaciones bajo estudio ubicadas en la región de la Cordillera Central y los Llanos en Venezuela .....	26
Cuadro 11. Características edáficas de los suelos representativos del área de influencia de las estaciones bajo estudio ubicadas en la región de los Andes, Sistema Coriano y Lago de Maracaibo en Venezuela.....	27
Cuadro 12. Aptitud agrícola de las tierras en el área de influencia de las estaciones bajo estudio ubicadas en la región de la Cordillera Central y los Llanos en Venezuela.....	29
Cuadro 13. Aptitud agrícola de las tierras en el área de influencia de las estaciones bajo estudio ubicadas en la región de los Andes, Sistema Coriano y Lago de Maracaibo en Venezuela.....	30
Cuadro 14. Duración de las magnitudes máximas detectadas en las estaciones bajo estudio (Grupo I).....	49
Cuadro 15. Duración de las magnitudes máximas detectadas en las estaciones bajo estudio (Grupo II).....	50
Cuadro 16. Producto ( $Kn * STn$ ) del Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra (FT) para las estaciones bajo estudio.....	53
Cuadro 17. Superficie total municipal (ha) y el Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra (FT) para las estaciones bajo estudio.....	54
Cuadro 18. Superficie total cultivada (ha), Superficie de secano (ha) y el Índice del balance riego/secano (IRS) para las estaciones bajo estudio.....	56
Cuadro 19. Población total, rural y el Índice de Ruralidad (IRU) para las estaciones bajo estudio.....	57
Cuadro 20. Fracción de superficie ocupada por cada rubro ( $Sn$ ) respecto al Factor de Uso de Capital y Tecnología (UCT) para las estaciones bajo estudio.....	59
Cuadro 21. Índice de Intensidad de la Agricultura (IT) para las estaciones bajo estudio.....	60

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Secuencia de sucesos de los diferentes tipos de sequías y de sus efectos.....	2
Figura 2. Distribución geográfica de la red de estaciones agrometeorológicas del INIA en Venezuela.....	10
Figura 3. Ejemplo de transformación de una distribución gamma ajustada a una distribución normal estandarizada.....	15
Figura 4. Procedimiento para el cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) .....	16
Figura 5. Distribución del Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra.....	21
Figura 6. Ubicación de la red de estaciones agrometeorológicas del INIA por unidad eco-territorial en Venezuela.....	32
Figura 7. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación CENIAP.....	33
Figura 8. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación Tapipa-Padrón.....	34
Figura 9. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación Banco de San Pedro.....	35
Figura 10. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación El Tigre.....	35
Figura 11. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación Turén.....	36
Figura 12. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación Mucuchíes.....	37
Figura 13. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación Bramón.....	37
Figura 14. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación El Cují.....	38
Figura 15. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación Quíbor.....	39
Figura 16. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación Yaritagua.....	40
Figura 17. Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación El Guayabo.....	40
Figura 18. Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las clases de magnitudes (SPI mensual) en el período 1980-2014 (Grupo I).....	43
Figura 19. Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las clases de magnitudes (SPI mensual) en el período 1980-2014 (Grupo II).....	44
Figura 20. Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las clases de magnitudes (SPI mensual) en el período 1980-2014 (Grupo III).....	45
Figura 21. Distribución de las magnitudes de las sequías durante el periodo (1980-2014) para las estaciones CENIAP y El Tigre.....	46

Distribución de las magnitudes de las sequías durante el periodo (1980-



Figura 22.	2014) para las estaciones Yaritagua y Bramón.....	46
Figura 23.	Categorías de la severidad de la sequía para el año 2001.....	47
Figura 24.	Categorías de la severidad de la sequía para el año 2009.....	48
Figura 25.	Representación gráfica del índice de vulnerabilidad agrícola.....	61

## RESUMEN

Las sequías meteorológicas representan una forma extrema de inseguridad de agua, socavando los medios de sustento familiar, reduciendo el potencial de crecimiento de la economía de subsistencia, generando consecuencias devastadoras para el desarrollo humano. El simple hecho de realizar el proceso de identificación, caracterización y evaluación de esta amanezca vinculada con la variabilidad natural del clima, puede conducir a favorecer la reducción de los impactos adversos mencionados. Bajo este razonamiento, el estudio de la situación actual de la sequía es la base sólida para la formulación de medidas y estrategias de adaptación en el territorio nacional. El objetivo de esta investigación fue caracterizar la sequía meteorológica en diferentes áreas de Venezuela, tomando como base la información de precipitación de once estaciones de la red de estaciones agrometeorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), mediante el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), el cual permitió identificar y describir este fenómeno, precisando su inicio, intensidad, duración, magnitud y frecuencia de ocurrencia. Posteriormente, se analizó la vulnerabilidad agrícola a la ocurrencia de sequía en las zonas de estudio mediante el Índice de Vulnerabilidad Agrícola (VA). De acuerdo a los valores de SPI reportados existe el fenómeno de la sequía meteorológica, mostrando variaciones espaciales y temporales de la intensidad y magnitud. Las magnitudes máximas más relevantes fueron las registradas en Bramón para el año 1993 cuyo valor de magnitud alcanzo el 11,56; Quíbor en el 2001 con 11,29 de magnitud y El Cují durante el 2005 con un valor de 11,18. En función al análisis de la vulnerabilidad agrícola, las estaciones parecen categorizarse mayormente en el rango de medianamente vulnerables, esto según la naturaleza de la actividad productiva, la localización del municipio y de la tipología tecnológica del sistema. Los resultados aquí mostrados constituyen evidencias científicas sobre las principales características del comportamiento de este evento extremo y sobre los rasgos esenciales que lo provocan. El valor singular de esta investigación y sus resultados se encuentra en la replicabilidad y la utilidad de las recomendaciones planteadas para otras áreas de Venezuela, así como para otros países en desarrollo y en particular para Latinoamérica y el Caribe.

**Palabras clave:** agricultura, cambio climático, déficit hídrico, precipitación, vulnerabilidad.

## ABSTRACT

Meteorological droughts represent an extreme form of water insecurity, undermining the means of family support, reducing the potential growth of the subsistence economy, generating devastating consequences for human development. The mere act of conducting the process of identification, characterization and evaluation of the dawn associated with natural climate variability can lead to favor the reduction of the mentioned adverse impacts. Under this reasoning, the study of the current situation of drought is the solid basis for developing measures and adaptation strategies in the country. The objective of this research was to characterize meteorological drought in different areas of Venezuela, based on the information of precipitation eleven stations Agrometeorological Network of the National Institute for Agricultural Research (INIA), using the Standardized Precipitation Index (SPI) which allows identifying and describing this phenomenon, including its onset, intensity, duration, magnitude and frequency of occurrence. Subsequently, agricultural vulnerability to the occurrence of drought in areas of study by Agricultural Vulnerability Index (AV) was analyzed. According to SPI values reported there is the phenomenon of meteorological drought, showing spatial and temporal variations of the intensity and magnitude. The relevant maximum magnitudes were registered for 1993 Bramón whose magnitude value reached 11.56; Quíbor in 2001 to 11.29 magnitude and the Cují in 2005 with a value of 11.18. According to the analysis of agricultural vulnerability, the stations seem mostly categorized in the range of moderately vulnerable, this according to the nature of productive activity, the location of the municipality and technological system type. The results shown here are scientific evidence on the main features of the behavior of this extreme event and the essential features that cause it. The unique value of this research and its results is in the replicability and usefulness of the recommendations made for other areas of Venezuela, as well as other developing countries, particularly Latin America and the Caribbean.

**Keywords:** agriculture, climate change, water deficit, precipitation, vulnerability.

## INTRODUCCIÓN

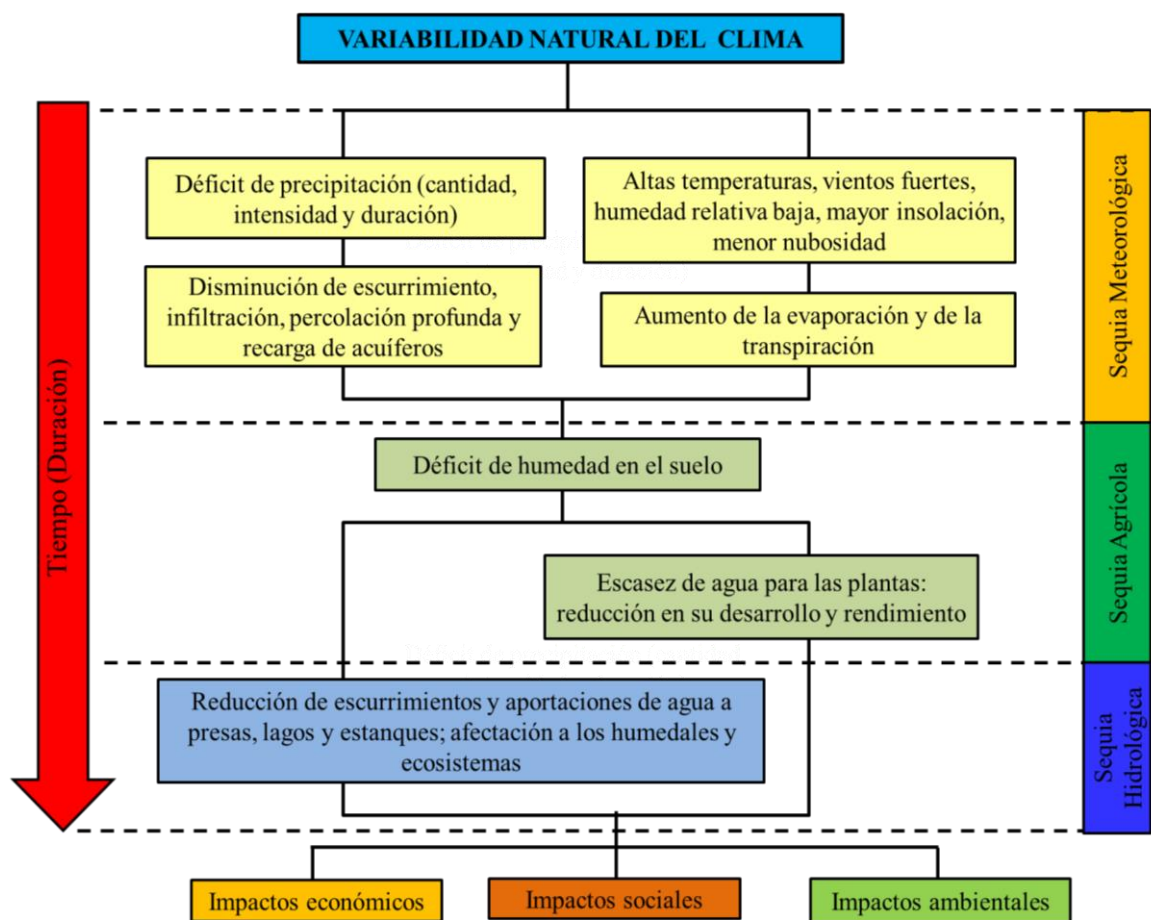
Durante toda la historia de la humanidad, la sequía ha sido uno de los principales problemas que ha perjudicado el bienestar social y la seguridad alimentaria en diferentes regiones. A escala global, la agricultura es considerada la actividad más vulnerable a la sequía, representando una de las amenazas climáticas más devastadoras, debido a que genera la paralización en la producción de alimentos, afecta el crecimiento de los pastizales, modifica los mercados y en ocasiones extremas, causa la muerte generalizada de animales (FAO, 2003).

La sequía es considerada por expertos como uno de los eventos climáticos más complejos y poco comprendido a nivel mundial, debido principalmente a su característica de extenderse de forma irregular en el tiempo y espacio, a diferencia de otros desastres naturales (Wilhite, 2000; Nuñez, 2013; Ortega-Gaucin y Velasco, 2013). Es precisamente por esta razón que resulta difícil proporcionarle un enfoque genérico que contemple todos los aspectos y satisfaga todas las expectativas, por lo que la sequía responde más bien a una particularidad del clima y del medio ambiente, lo que la convierte en un fenómeno con carácter relativo y elusivo (Velasco et al., 2005).

No obstante, la sequía la definen como un déficit significativo en la disponibilidad de agua debido a lluvias menores que a lo normal esperado en un sitio determinado (Convención de Lucha contra la Desertificación, 1994; Wilhite, 1997; Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2006); sin embargo, este evento puede definirse mediante conceptos más específicos dentro de los cuales, Wilhite y Glantz, (1985) establecen cuatro categorías: la sequía meteorológica, hidrológica, agropecuaria y socioeconómica. En primer lugar, se define la sequía meteorológica, como una situación caracterizada por la ausencia prolongada de lluvias en periodos que normalmente serían lluviosos. Seguidamente, la sequía puede convertirse en sequía hidrológica cuando se abaten los escurrimientos superficiales, los embalses y los acuíferos. También se puede hablar de sequía agrícola, cuando los fenómenos anteriores afectan el desarrollo fenológico de los cultivos o las actividades ganaderas. Finalmente, la sequía socioeconómica se produce cuando la disponibilidad de agua disminuye hasta el punto de producir daños económicos o personales a la población de la zona afectada por la escasez de lluvias.

En cierto modo, la sequía difiere en distintos aspectos de otros fenómenos naturales perjudiciales tales como ciclones, inundaciones y tormentas; sus efectos se hacen notar de

manera muy pausada o lenta. Es decir, la sequía es una desviación acumulativa respecto de las condiciones normales de precipitación. Este déficit de precipitación puede sobrevenir en poco tiempo o tardar meses en manifestarse por medio de la disminución del caudal de los ríos, de los niveles de los embalses o del nivel freático, y esa evolución sigilosa de la sequía hace que, sus efectos tarden semanas o meses en hacerse presentes. En resumidas cuentas, los diferentes tipos de sequía son consecuencia de una sequía meteorológica. Cuando ésta se prolonga, sobrevienen las sequías agrícola e hidrológica, y posteriormente surgen los impactos económicos, sociales y ambientales correspondientes, tal como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Secuencia de sucesos de los diferentes tipos de sequías y de sus efectos (adaptado de National Drought Mitigation Center, 2006).

En síntesis, los impactos de las sequías pueden ser analizados desde tres puntos de vista: el económico, social y el ambiental (Cuadro 1). Es conveniente citar que la sequía no es en sí misma un desastre; no obstante, puede llegar a serlo en función de los impactos que cause

en la población local, sobre la economía y sobre el medio ambiente, y en función de la capacidad de estos últimos para hacer frente al fenómeno y recuperarse de tales efectos.

**Cuadro 1.** Identificación de impactos generados por las sequías (adaptado de National Drought Mitigation Center, 2006)

Ámbito	Impactos
Económico	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pérdida de producción agrícola, pecuaria, forestal y pesquera</li> <li>– Recesión en la tasa de crecimiento económico regional</li> <li>– Pérdida de ingreso de productores, comerciantes y transportistas</li> <li>– Aumento en la demanda de energía</li> <li>– Decremento en industrias y actividades asociadas</li> <li>– Desempleo y tirantez de créditos y actividad bancaria</li> <li>– Menor flujo de activos</li> <li>– Disminución de ingresos y beneficios vía impuestos</li> <li>– Aumento en los costos de tratamiento y provisión de agua potable</li> </ul>
Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Escasez de cantidad y calidad de alimentos</li> <li>– Problemas de salud y aumento de morbilidad en sectores vulnerables</li> <li>– Conflictos entre usuarios y sectores del agua</li> <li>– Desigualdad en la absorción del impacto</li> <li>– En la higiene y salud personal y pública</li> <li>– Incremento de la tasa de desempleo</li> <li>– Deterioro o pérdida de espacios para recreación</li> <li>– Baja de la calidad de vida e incremento de la pobreza</li> <li>– Inestabilidad social, marginación y migración hacia áreas urbanas o al extranjero</li> </ul>
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Daño a los ecosistemas</li> <li>– Incendios forestales</li> <li>– Pérdidas de flora y fauna silvestres</li> <li>– Erosión y pérdida de suelos</li> <li>– Degradación de la calidad del agua y del aire</li> <li>– Degradación del paisaje</li> <li>– Pérdida de servicios ecosistémicos</li> <li>– Aceleración del proceso de desertificación</li> <li>– Disminución de los caudales bajo los mínimos ecológicos</li> </ul>

Las principales causas de la sequía meteorológica, se deben a la variabilidad natural del clima, aunque se acepta que su origen es el resultado de una compleja interacción entre factores de tipo natural representados por las alteraciones en los patrones de circulación atmosférica, fenómenos como *El Niño* principalmente, y factores antropogénicos tales como la quema de combustibles fósiles, deforestación, cambios en el uso del suelo, entre otros (Sheffield et al., 2009; Ortega-Gaucin et al., 2013).

En la literatura se reconoce que las sequías presentan tres rasgos que la distinguen: la intensidad, asociada al déficit de precipitación y la gravedad de los efectos; la duración, en el que este fenómeno puede sobrevenir rápidamente en algunos regímenes climáticos pero, por lo general, las sequías tardan como mínimo dos o tres meses en hacerse patentes, una vez iniciada, esta puede durar meses o años; y por último la extensión, debido a que las áreas afectadas por sequías graves evolucionan de manera gradual y las regiones de máxima intensidad, como los epicentros, cambian de una estación a otra y de año en año cuando las sequías persisten lo suficiente.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en Inglés) (2013) establece que en las últimas décadas, en distintas partes del mundo, pareciera que las sequías se manifiestan con mayor frecuencia de ocurrencia, con mayor grado de persistencia y una significativa proporción; además, los modelos climáticos demuestran escenarios aún más severos para el presente siglo. En países de gran extensión, como Brasil, China, India, Estados Unidos de América o Australia, una sequía rara vez llega a afectar a la totalidad del país; sin embargo, en las regiones afectadas en estos países por la ocurrencia de este fenómeno se presentan impactos relevantes en la economía nacional y en la sociedad en general.

En el caso particular de Venezuela, los trabajos realizados por García y Perdomo (1998); Cárdenas et al. (2002) y Martelo (2003) establecen que por su ubicación en los climas tropicales, en el país predominan, durante una parte del año, las condiciones típicas de lluvias de los climas netamente ecuatoriales (temporada de lluvias entre abril y noviembre), mientras que en la otra, predominan situaciones típicas secas de las zonas templadas (temporada seca entre noviembre y marzo). Igual sucede con los vientos, predominando durante los meses de lluvias, vientos débiles o las calmas ecuatoriales, mientras que en los meses secos predominan los vientos fuertes estables de los Alisios

La temporada seca en el país está condicionada por el movimiento de la alta presión del Atlántico Norte, la cual inhibe la formación de nubes de gran desarrollo vertical entre los meses de noviembre y marzo; a partir de abril, la formación de la Zona de Convergencia Intertropical trae consigo el inicio de la época lluviosa.

Partiendo de esta caracterización general del clima en Venezuela; Martelo (2004) evaluó la causalidad entre el comportamiento espacio-temporal de la precipitación en Venezuela y la dinámica temporal de ocho variables macroclimáticas (VM) representativas de los subsistemas oceánico y atmosférico, revelando que son los valores extremos de las VM los

que influyen sobre los valores extremos de lluvia, aunque hay algunas excepciones. En sus respectivas áreas de influencia espacial, el Pacífico caliente provoca temporadas secas muy secas, y si está frío, épocas secas muy lluviosas; el Atlántico Tropical Norte caliente produce temporadas lluviosas más lluviosas que lo normal, y si está frío, temporadas lluviosas pobres.

De acuerdo a los aportes de la Primera Comunicación en Cambio Climático de Venezuela (MARN, 2005) se indica que la ocurrencia de eventos de sequía se incrementarían debido a los cambios climáticos producto del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero causado por las actividades humanas. Dentro de los efectos del cambio climático, se encuentra el incremento de la temperatura del aire, y la disminución de la precipitación.

En consecuencia, gran parte del territorio venezolano fue afectado en el último decenio por la ocurrencia de varias sequías extremas. Entre 1997 y 1998, ocurrió una sequía que redujo un 55% el caudal aportante a la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar (antiguamente, Gurí). De igual manera, durante los años 2001 y 2002 se presentaron eventos de sequía que afectaron fuertemente los embalses de Camatagua y Guárico. Posteriormente, en los años 2003 y 2007 sucedieron temporadas secas muy extremas que mermaron las reservas hídricas en los principales embalses situados en Los Llanos y la región Centro Costera (Hernández, 2008). Recientemente, en el año 2010, ocurrió una sequía tan severa, que el Gobierno Nacional implemento un racionamiento eléctrico en la mayor parte de la nación.

La vulnerabilidad a estos fenómenos fue mayor, en aquellos estados del país que poseen una estructura económica fuertemente volcada hacia los sectores primarios extractivos y agropecuarios, que dependen de un adecuado balance del recurso hidrometeorológico para su desarrollo. Las consecuencias económicas y sociales más severas de estos eventos en el territorio, las sufrieron las comunidades rurales y los pequeños y medianos productores, cuya capacidad de recuperación sin asistencia es limitada.

Así mismo, se evidenció que las comunidades urbanas son también altamente vulnerables al impacto de estos fenómenos. No sólo por los riesgos derivados del emplazamiento físico de las ciudades, sino porque la creciente concentración de población en estos espacios limitados, aumenta las presiones sobre la demanda de recursos hídricos, energéticos y agroalimentarios (Hernández, 2008).

De acuerdo con Ovalles et al. (2008), solo el 5.7% del aprovechamiento agrícola de las tierras venezolanas se realiza bajo riego; en consecuencia, la producción es altamente



vulnerable a la ocurrencia de sequías extremas. En la región de Los Llanos, se encuentran las unidades de producción de cultivos de secano como maíz, arroz y sorgo, por ello al disminuir o cesar las lluvias durante varios días o meses, se afecta la producción, el mercado de los cereales y sus subproductos, por ende son especialmente vulnerables a la ocurrencia de sequías. El sector agroindustrial utiliza esta materia prima para producir una amplia variedad de alimentos de consumo masivo en el país.

De lo antes expuesto se desprende la definición de la vulnerabilidad como el grado en el cual un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a los efectos adversos de la variabilidad climática natural y del cambio climático (MARN, 2005). En este sentido, la sociedad y la economía agrícola que se desarrolla en Venezuela son altamente vulnerables a la ocurrencia de eventos de sequía, por lo cual es de vital importancia tener un mejor entendimiento sobre las variaciones de la precipitación, sus tendencias y escenarios futuros. Bajo la influencia del cambio climático, dichos efectos pueden ser minimizados si se conocen las zonas más susceptibles, ante su intensidad y periodicidad, para hacerle frente mediante medidas preventivas.

Es a partir de 1998, cuando el Estado venezolano, adquirió el compromiso de presentar un programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía en el marco de la convención de la Organización de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía. En 2002, el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente creó el Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y Mitigación de la Sequía de la República Bolivariana de Venezuela (MARN, 2004), donde se plantea, entre otros aspectos, la necesidad de generar información básica de las condiciones ambientales, sociales y económicas de las cuencas o subcuencas hidrográficas de las áreas afectadas por procesos de desertificación, así como impulsar la investigación científica y la innovación tecnológica para el desarrollo de actividades científicamente fundamentadas, económicamente rentables y ambientalmente sostenibles en las áreas degradadas, que permitan la recuperación de estos ambientes y una mejor calidad de vida de sus habitantes.

En el país, son recientes los estudios detallados sobre la ocurrencia y dinámica de las sequías meteorológica, agrícola e hidrológica. Dentro de los estudios más destacados en este tema se encuentran los aportes de Guevara y Paredes (2007); Paredes et al, (2008); Paredes y Guevara (2010). Entre los estudios encontrados con relación a la sequía agrícola están los realizados por Ibarra y Mendoza (2004); Mendoza et al. (2007); Maracara (2007);

Mendoza y Puche (2007). Por su parte, la sequía hidrológica ha sido estudiada por Paredes et al. (2006) y Hernández (2008).

Por otra parte, se plantea entonces el problema asociado a que en Venezuela existe información en un nivel muy general sobre las áreas más propensas a sufrir desertificación, pero casi no existe información cuantificada, por medio de índices, sobre el riesgo de ocurrencia, tipo o intensidad de las sequías a nivel de mesoescala, información que resulta valiosa y significativa que servirá de base para comprender en un sentido más amplio el problema de la desertificación y sus relaciones con la sequía.

El progreso en las investigaciones representadas por el estudio del fenómeno de sequía: causas, consecuencias, estrategias de evaluación y mitigación, entre otros temas, resultan insuficientes para encontrar los mecanismos adecuados para prevenir, planear y mitigar los efectos de ésta en la nación. El análisis precedente, refleja que aunque existen instituciones nacionales y regionales, universidades e instituciones de investigación que abordan el estudio de este fenómeno, es evidente que el avance es desigual y en muchos lugares incipiente o prácticamente nulo. Comúnmente se subestima la planeación de estrategias de evaluación en regiones donde la sequía no se presenta con frecuencia, no se cuenta con recursos financieros suficientes, tanto para investigar como para atender los efectos del fenómeno, y en ocasiones no existe aún una política de manejo y conservación de recursos naturales, incluyendo el agua.

Por las consideraciones expuestas y con la finalidad de confrontar el fenómeno de las sequías meteorológicas en Venezuela, surge la necesidad de caracterizar este fenómeno, obteniendo resultados que coadyuvarán a la identificación de las áreas vulnerables a la sequía en la regiones en estudio, donde se encuentran las mayores superficies de cultivos de secano en el país, a partir de la cual se podrán establecer propuestas para el diseño de estrategias orientadas al manejo integral del recurso hídrico y que contribuyan a reducir el riesgo para la seguridad agroalimentaria.

Esta investigación pretende servir de base de información en las labores de planificación estratégica, dirigidas en el Plan Nacional de Ordenación del Territorio, además conocer el grado de vulnerabilidad a la sequía y las áreas más críticas en el país, lo cual servirá de apoyo para definir e implementar estrategias y convertirlas en el elemento central del proceso de desarrollo, logrando así una contribución a la reducción de la vulnerabilidad de estas comunidades. Dentro de este marco de ideas, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la vulnerabilidad a la sequía meteorológica de diferentes zonas del país,

utilizando el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), que usa como única variable la lluvia, y que permitirá identificar y describir convenientemente el fenómeno, precisando su inicio, intensidad, duración y magnitud.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo general**

Caracterizar la sequía meteorológica en diferentes áreas de Venezuela, tomando como base la información climática de la red de estaciones agrometeorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).

### **Objetivos específicos**

1. Caracterizar las estaciones correspondientes a la Red Agrometeorológica del INIA, según su ubicación por las regiones naturales en Venezuela
2. Determinar la vulnerabilidad a la sequía meteorológica y describir la intensidad, duración y magnitud de los eventos de sequía mediante el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) mensual para las estaciones con registro histórico de precipitaciones lo suficientemente largo (35 años).
3. Analizar la vulnerabilidad agrícola a la ocurrencia de sequía en las zonas objeto de estudio

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Unidad de estudio**

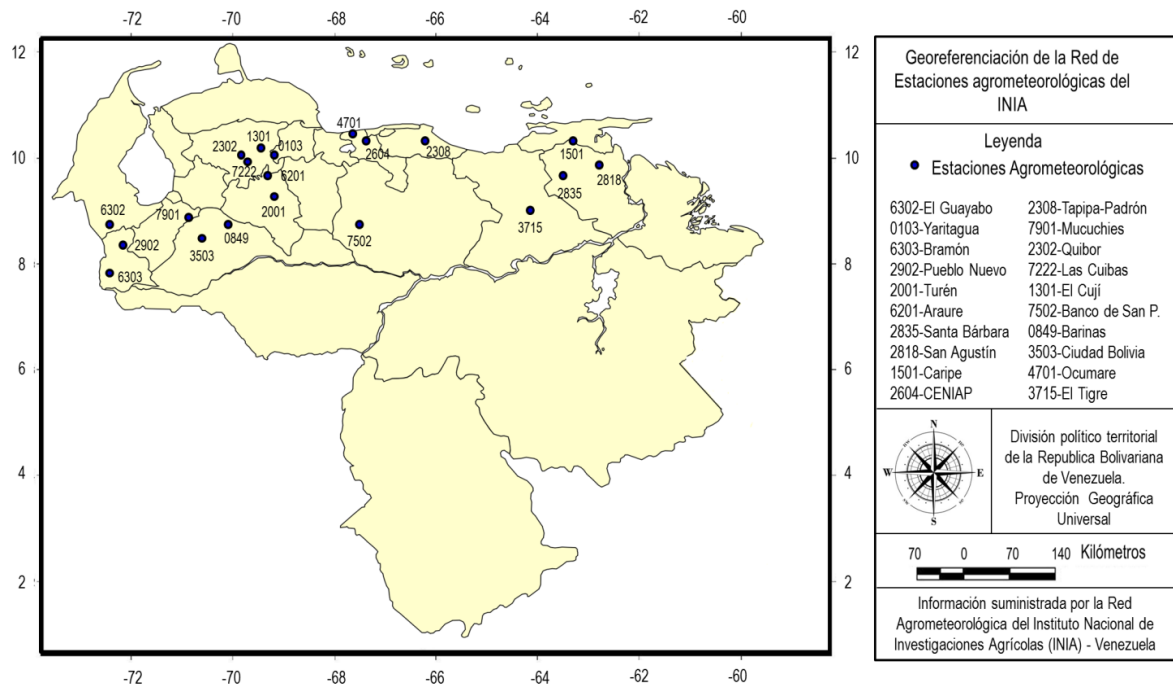
En esta investigación la unidad de estudio está constituida por las estaciones que conforman la red de estaciones agrometeorológicas del INIA, abarcando cinco regiones naturales: los Llanos (estados: Anzoátegui, Guárico, y Portuguesa), la Cordillera Central (estados: Aragua y Miranda), el sistema Coriano (estados: Lara y Yaracuy), Lago de Maracaibo (estado Zulia) y los Andes (estados: Mérida y Táchira).

### **Descripción de la Red de estaciones agrometeorológicas del INIA (RAI)**

Durante la década de los años 1930 se inicia la instalación de una red de estaciones agrometeorológicas en campos adscritos al Ministerio de Agricultura y Cría (MAC) en Venezuela. Posteriormente, es a partir del año 1961 cuando el Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) ahora INIA, asume esta red constituida actualmente por 20 estaciones convencionales equipadas con instrumentos para medir los elementos agrometeorológicos, junto con 20 estaciones automáticas de diferentes modelos (ELE Cumulus, Imetos, Sutrón y HL20), ubicadas en el mismo lugar que las convencionales. Estas 40 estaciones se encuentran en los estados de mayor importancia agrícola del país, tal como se muestra en la figura 2.

Tanto en las estaciones agrometeorológicas convencionales y automáticas se realizan mediciones de temperatura, precipitación, presión, humedad, viento, nubosidad, radiación, insolación, entre otros, al igual se observan fenómenos que están relacionados con la agricultura tales como temperatura y contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades entre otros. Y se asocian con las observaciones fenológicas tanto del cultivo como del ganado y otros fenómenos biológicos que se generan de proyectos de investigación agrícola que se llevan a cabo en el área de influencia de las estaciones.

Por su parte, las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) que posee la RAI, están basadas en instrumentos electrónicos, con registro en memoria sólida, constituidas por instrumentos electrónicos o sensores, donde el parámetro meteorológico es convertido en una señal eléctrica. La señal eléctrica es transformada a un código binario y almacenado en memoria de estado sólido.



**Figura 2.** Distribución geográfica de la Red de estaciones agrometeorológicas del INIA en Venezuela.

La finalidad de esta red es generar, almacenar, analizar y procesar información agroclimática diaria, confiable y oportuna proveniente de las principales zonas agrícolas del país, para ofrecer a los investigadores y usuarios en general una herramienta coadyuvante en la reducción de riesgos y pérdidas económicas generadas por eventos climáticos en los procesos productivos agrícolas (Azkue et al., 2004).

## Técnicas de procesamiento y análisis de datos

### Selección de las estaciones agrometeorológicas

Para la selección de las estaciones utilizadas en el estudio, se formuló un inventario de todas las estaciones convencionales en la zona de estudio. Se consideraron inicialmente las 20 estaciones con registros mensuales del periodo 1980-2014. Se estableció la información de la metadata básica representada por:

- Serial nacional: código asignado por el organismo responsable de la estación meteorológica.
- Estación: nombre de la estación.
- Ubicación de la estación: Estado, municipio y sitio
- Tipo de estación: (C1: mide todos los elementos, C2: mide todos los elementos excepto dirección y velocidad del viento, C3: mide solo temperatura del aire y precipitación, PR: registra solo precipitación, A1: estación sinóptica, realiza

observaciones de los principales elementos meteorológicos en horas establecidas internacionalmente, SB: Estación Sinóptica Básica (a la vez Estación Climatológica Principal C1).

- Cota: altitud en m.s.n.m
- Latitud y Longitud: Ubicación en grados, minutos y segundos para obtener la georeferenciación.
- Variables climáticas medidas
- Fecha de instalación
- El período de datos climáticos disponibles.

Después de estructurar la metadata con la información básica de las estaciones, solo se seleccionaron aquellas estaciones con registros largos de precipitación. De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (Sevruk, 1989), se requiere un mínimo de 35 años de datos para estudios de variabilidad de la precipitación en regiones tropicales. Así, quedaron seleccionadas 11 estaciones las cuales se muestran en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Listado de estaciones agrometeorológicas seleccionadas.

N	Estación	Estado	Serial	Altura m.s.n.m	Latitud dec.	Longitud dec.
1	Banco de San Pedro	Guárico	7502	120	8,4470	-67,3206
2	Bramón	Táchira	6303	1150	7,3903	-72,2403
3	CENIAP	Aragua	2604	480	10,1714	-67,3602
4	El Cují	Lara	1301	605	10,0851	-69,1853
5	El Guayabo	Zulia	6302	61	8,3401	-72,2004
6	Mucuchíes	Mérida	7901	3130	8,4551	-70,5309
7	Tapipa - Padrón	Miranda	2308	38	10,1314	-66,1757
8	Quíbor	Lara	2302	705	9,5314	-69,3911
9	El Tigre	Anzoátegui	3715	302	8,5146	-64,1317
10	Turén	Portuguesa	2001	149	9,1558	-69,0554
11	Yaritagua	Yaracuy	0103	308	10,0238	-69, 0520

### **Procedimientos aplicados para el control de calidad de datos climáticos**

Se aplicó el control de calidad a las series de precipitación diaria de las estaciones del INIA, mediante la determinación de datos faltantes, el cálculo de estadística descriptiva, análisis de concentración y tendencia de series temporales y análisis de dispersión de acuerdo a la metodología propuesta por Parra y Cortez (2005) para las estaciones de INIA;

y los procedimientos estadísticos desarrollados por Ablan et al. (2008) y Olivares et al. (2013) para estaciones climatológicas a nivel nacional.

#### **a. Detección de datos faltantes**

Para determinar la proporción de datos faltantes mensuales en las series de precipitación se consideró el criterio utilizado por Parra y Cortez (2005), el cual establece que si existe por lo menos una observación faltante (df) en el mes, no se calcula el valor mensual (se considera perdido), debido a que el valor mensual se calcula como la sumatoria de los valores diarios o lluvia total caída en el mes. Los datos faltantes en estas series pueden afectar la representatividad de los datos utilizados en el estudio, a su vez permitiría la selección de estaciones con una longitud de registro histórico adecuado para diferentes tipos de análisis climático e hidrológico.

#### **b. Detección de valores extremos**

La teoría de valores extremos permite describir el comportamiento de los puntos muy alejados de la media en una distribución; en este sentido resulta de mucha utilidad para modelar eventos extremos de precipitación por el impacto que estos pueden tener en el cambio climático global afectando de diversas maneras la integridad humana, ambiental y económica (Wulfmeyer y Henning-Müller, 2005; Javelle et al., 2003).

Para detectar los valores extremos mensuales en las series de precipitación se usó el criterio basado en la desviación absoluta de la mediana (mad) de acuerdo con Crawley (2002) y Ablan et al., (2008). La (mad) representa un estimador robusto de la variabilidad de los datos considerado menos sensible a los valores extremos. Así que, cuando el valor de la desviación estándar es mayor que cuatro veces el valor de (mad), se considera que el conjunto de datos posee valores extremos. Después de haber identificado los posibles valores extremos, para cada estación se grafican los datos mensuales con su respectiva media y desviación estándar.

#### **c. Estadística descriptiva básica**

Para cada estación seleccionada, se calcularon los parámetros estadísticos descriptivos: precipitación media mensual, máxima mensual, desviación estándar, coeficiente de variación, percentiles 25%, 50%, 75%, la asimetría, curtosis y desviación absoluta de la mediana.

#### **d. Verificación de la homogeneidad de las series**

La verificación de la homogeneidad de las estaciones estudiadas se realizó a través de la prueba de homogeneidad y carácter aleatorio para reconocer patrones de oscilación de Wald-Wolfowitz (Sevruk, 1989; Sneyers, 1990). Esta prueba de homogeneidad establece que la hipótesis nula asume que todas las observaciones de la serie provienen de la misma población y que son independientes, o lo que es equivalente a que la serie se comporta de forma aleatoria. Este test contrasta si dos muestras con datos independientes proceden de poblaciones de la misma distribución. Si esto es así, lógicamente los parámetros poblacionales de ambas muestras son los mismos basándose en la prueba de rachas, la cual consiste en ordenar todos los casos de ambos grupos de forma conjunta, dispuestos en orden, se cuentan las rachas pertenecientes al mismo grupo para determinar la homogeneidad de las series (Arnell, 2003; Griffis et al., 2004). En este sentido aquellas estaciones que resulten homogéneas, pueden ser consideradas en un análisis de variabilidad climática, debido a que todas las observaciones de la serie provienen de la misma población (Yue y Pilon, 2004). La no homogeneidad de las series, puede ser atribuida directa o indirectamente al personal que efectúa la medición en las estaciones o en las operaciones de las mismas, así como a los cambios de localización de las estaciones o derivaciones locales características de la región.

#### **e. Análisis de dispersión de las series temporales**

El estudio desarrollado por Parra y Cortez (2005) establece que el análisis de la variabilidad interanual se realiza mediante un análisis de dispersión temporal de las series de precipitación mensual. Este análisis de dispersión de las series temporales se aplicó a través de la representación gráfica de "Boxplots" con determinación de valores atípicos moderados y severos, ya que estos pueden tener un impacto potencial de análisis estadísticos. Se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT versión 9.0 (2008), para la determinación de todos los análisis del control de calidad de las series de precipitación.

El cuadro 3 presenta un resumen de los procedimientos estadísticos aplicados a las series de precipitación, el principal problema característico de las series lo constituyen los datos faltantes mensuales, la mayoría de las estaciones presentan valores bajos (<28%); sin embargo, hay ciertas estaciones que poseen una alta proporción de datos faltantes (38-77%), esta ausencia de datos de alguna manera afecta la longitud de las series que se quieren analizar para diversos fines, resultando un problema importante sobre la



representatividad de los datos y en consecuencia, en la confiabilidad de los resultados producto de los análisis obtenidos.

**Cuadro 3.** Resultados de la aplicación de los procedimientos para el control de calidad de las series de precipitación de las estaciones agrometeorológicas estudiadas durante el periodo (1980-2014).

Nº	Estación	Datos Faltantes Mensuales (%)	Datos Extremos	Estadística Descriptiva	Nº de series aleatorias	Análisis de dispersión
1	Banco de San Pedro	26	Si	N	9	N
2	Bramón	22	No	N	10	N
3	CENIAP	3	No	N	11	N
4	El Cují	47	No	N	10	N
5	El Guayabo	40	No	N	11	N
6	Mucuchíes	21	No	N	11	N
7	Tapipa - Padrón	38	No	N	12	N
8	Quíbor	77	No	N	11	N
9	El Tigre	1	No	N	12	N
10	Turén	8	Si	N	9	N
11	Yaritagua	18	No	N	9	N

Nota: (N: Patrón Normal esperado)

### Caracterización de las áreas agroecológicas

Se utilizó el Sistema de Información de las Áreas Agroecológicas (SIAA), el cual es un sistema automatizado que contiene en formato digital la información espacial y atributiva de las áreas agroecológicas de Venezuela a escala 1:250.000; cuenta con una base de datos que contienen 747 áreas agroecológicas. Estas son áreas de tierras delimitadas sobre la base de la interacción de factores ambientales naturales como: clima, relieve, suelo y su capacidad de aprovechamiento, los cuales condicionan determinadas formas de producción agrícola. Su información atributiva dentro del sistema se basa en una serie de características como: meses húmedos, zona de vida, paisaje y/o relieve, capacidad de uso, principales factores limitantes de la tierra y vocación de las y puede generar reportes de la información, en forma de informes y/o mapas; utilizando el Sistema de Información Geográfico ARC View v.3.2. (Arcview GIS, 1996) y el Programa Visual Fox Pro v.5.0 (Microsoft, 1996) (Rey et al., 2000; Rodríguez et al., 2003).

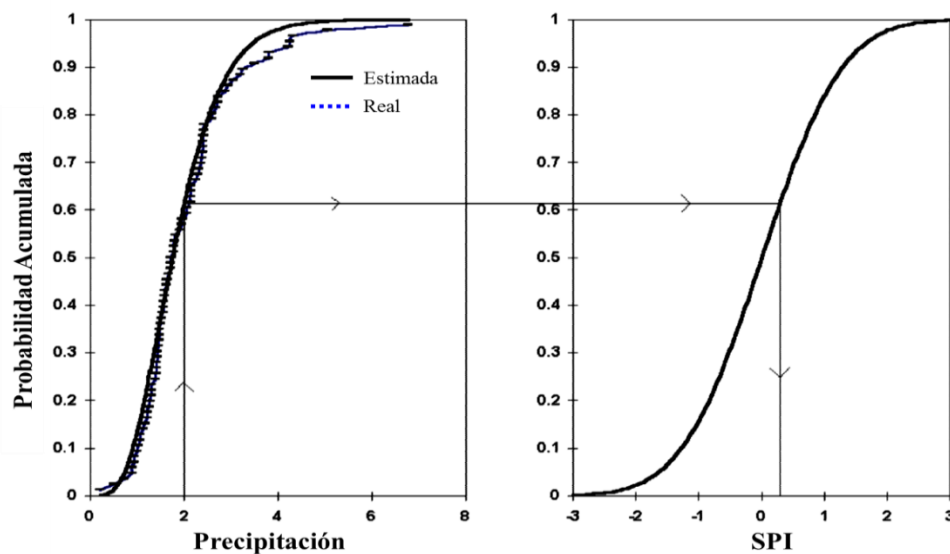
### Determinación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

Una metodología para determinar la magnitud de la sequía debe facilitar el análisis de las relaciones de la sequía con los factores modificadores del clima y demás elementos

atmosféricos (Colotti et al., 2013). Frecuentemente se utilizan variables que incluyen la precipitación, evapotranspiración, temperatura, la humedad del suelo y la capacidad de almacenamiento, entre otras; sin embargo, se han desarrollado métodos simplificados que requieren de una sola variable como la precipitación y permiten la cuantificación de la sequía en zonas en las que no se dispone de datos del resto de las variables mencionadas.

En este trabajo, para la caracterización de la sequía en las áreas bajo estudio, se utilizó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI, *Standardized Precipitation Index*), desarrollado por McKee et al. (1993). Para lo cual se requiere únicamente el uso de series históricas de precipitación mensual y ofrece la ventaja de manipular diversas escalas de tiempo, haciendo posible identificar los impactos de la sequía en periodos de corto, mediano y largo plazo; además permite identificar y describir convenientemente el fenómeno, precisando su inicio, intensidad, duración, magnitud y cobertura espacial. Este método admite que la lluvia es el principal factor que define si un período o área determinados son o no deficientes de agua.

De modo general, para el cálculo se pueden describir dos etapas: la primera consiste en ajustar la serie histórica de la precipitación a la distribución teórica Gamma. La segunda etapa consiste en convertir la serie de precipitación ajustada a la distribución Gamma en una distribución normal estandarizada con media 0 y varianza 1, cuyo resultado representa el índice SPI (Figura 3) (Edwards y McKee, 1997).



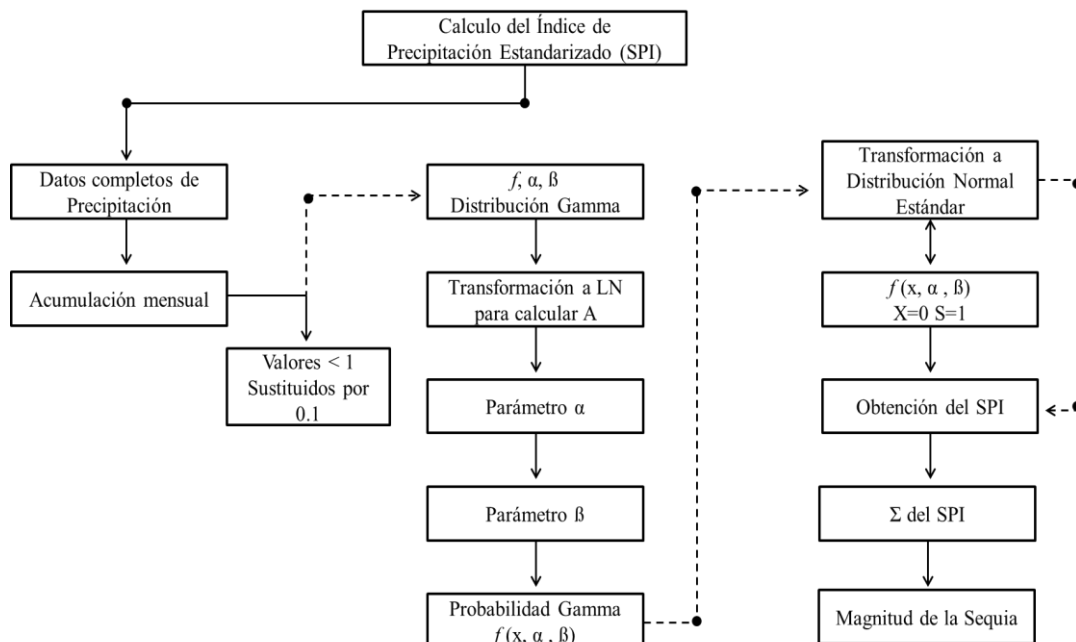
**Figura 3.** Ejemplo de transformación de una distribución gamma ajustada a una distribución normal estandarizada (adaptada de Edwards y McKee, 1997).

De acuerdo a lo reportado por Thom, (1958) es recomendable la aplicación de la distribución Gamma, debido en principio a la variabilidad natural de las precipitaciones y a su distribución asimétrica respecto a los valores medios, esta distribución posee ventajas con respecto a la Gaussiana, ya que se adapta a todo tipo de asimetrías, además de estar definida sólo para valores positivos, que la hace apta para representar frecuencias de precipitación (Young, 1992; Serio et al., 2010; Colotti et al., 2013).

El índice representa el número de desviaciones estándar en que el valor transformado de la precipitación se desvía del promedio histórico, representado por el valor cero. Los valores **NEGATIVOS** del SPI representan déficit de precipitación y aquellos **POSITIVOS** asociados a datos de precipitación superiores al promedio histórico.

### Pasos para el cálculo de SPI

Los pasos para calcular la magnitud de la sequía se presentan en la figura 4, iniciando con la acumulación de los datos de precipitación mensual con la intención de observar la extensión temporal del fenómeno. En este aspecto, Komuscu (1999) establece que al utilizar una escala temporal mensual, la frecuencia de la sequía se incrementa y su duración disminuye, lo contrario ocurre en escalas mayores, donde la frecuencia de la sequía disminuye pero presenta un efecto más prolongado.



**Figura 4.** Procedimiento para el cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) (Tomado de Colotti *et al.*, 2013)

Para cada mes se determinó el valor acumulado mensual, obteniéndose así 12 subseries en cada estación. Se estimaron los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la Distribución de Probabilidad Teórica Gamma (DPTG) asociada a cada una de esas 12 series de precipitación acumulada. La función de densidad de probabilidad de la DPTG está dada por la ecuación 1:

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

Donde  $f(x, \alpha, \beta)$ : es la función de densidad de probabilidad Gamma,  $(x)$ : es la lluvia acumulada mensual expresada en mm;  $(\alpha$  y  $\beta)$ : son los parámetros de escala y de forma de la distribución, respectivamente y  $\Gamma$ : Distribución Gamma. Por otra parte, la probabilidad de que el acumulado mensual, en una subserie, sea menor o igual al registro existente, se representa como  $F(x)$  y se estima según la ecuación 2:

$$F(x) = \int_0^x f(x, \alpha, \beta) dx \quad (2)$$

Para estimar los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la ecuación 1, se utilizó la metodología propuesta por Campos (2005), que se resume a continuación: en primer lugar, se calcula para cada subserie mensual, una variable auxiliar adimensional ( $A$ ), definida de la siguiente manera (Ecuación 3):

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{\sum_1^{n'} \ln(x_i)}{n'} \quad (3)$$

Donde  $\ln(x_i)$  es el logaritmo neperiano del registro acumulado,  $n'$  representa el número de registros no nulos, y  $\bar{X}$  es la media aritmética de la subserie mensual expresada en mm. Del paso anterior se obtienen 12 variables auxiliares,  $A$ . Posteriormente, la estimación de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de cada subserie se realiza aplicando las ecuaciones 4 y 5.

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3} A}}{4 A} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (5)$$

Los registros nulos en las subseries mensuales imposibilitan calcular la variable auxiliar  $A$  (el logaritmo neperiano de cero tiende a infinito), por lo tanto se empleó la Función

Gamma Mixta (FGM) propuesta por Thom (1971) y Wu et al. (2005) como sigue en la ecuación 6:

$$H(x)=q+p F(x) \quad (6)$$

Donde (q) es la probabilidad de que se presente un valor nulo en la subserie, ( $p=1-q$ ) es la probabilidad de que no se presente un valor nulo en la subserie, y  $H(x)$  es la probabilidad de no excedencia del registro.

Una vez obtenidas las 12 series de probabilidades Gamma, se estimó el valor Z ó valor de SPI que le corresponde, en una distribución normal estandarizada con media cero y desviación estándar igual a 1.

### **Categorización de la intensidad del SPI**

McKee et al. (1993) utilizaron el sistema de clasificación mostrado en el cuadro de valores de SPI que se muestra en el cuadro 4, para definir las distintas intensidades de la sequía según los distintos valores de SPI. Estas categorías están referidas al fenómeno de la sequía meteorológica (aquellas cuyo valor de SPI es negativo) y por tanto, corresponden a eventos secos coyunturales, mas no constituyen una condición de aridez (Colotti et al., 2013)

**Cuadro 4.** Clasificación del SPI (Fuente: McKee et al., 1993)

<b>SPI</b>	<b>Categoría</b>
2,0 y más	extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	muy húmedo
1,0 a 1,49	moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	normal o aproximadamente normal
-1,0 a -1,49	moderadamente seco
-1,5 a -1,99	severamente seco
-2 y menos	extremadamente seco

### **Determinación de la magnitud, duración y frecuencia de ocurrencia de la sequía**

Para calcular la magnitud del periodo seco durante un año cualquiera, en una estación determinada, se empleó una variante del método original propuesto por Edwards y McKee (1997) donde se acumularon los SPI mensuales cuya magnitud era igual o inferior a -1, y

cuando el SPI era mayor a -1 se sustituyó por un cero. Bajo este enfoque, un valor de SPI  $>-1$  indica una condición normal o húmeda (Ecuación 7)

$$MS = -\sum_{i=1}^{12} SPI_i \quad \text{Sí y sólo sí } SPI_i < 0 \quad (7)$$

Dónde (MS): representa la magnitud de la sequía para el período evaluado, (SPI): es el índice SPI para series de lluvia acumulada mensual.

Dado que las magnitudes de los eventos de sequía pueden tomar valores diversos, se decidió analizar el riesgo de ocurrencia de sequías de diferentes magnitudes mensuales, según una clasificación propuesta por Hernández (2008), la cual establece cinco clases: 1 a 1,99; 2 a 2,99; 3 a 3,99; 4 a 4,99 y  $\geq 5$  (Cuadro 5). Para la realización de los cálculos, se utilizó una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2013.

**Cuadro 5.** Magnitud de la sequía (Fuente: Hernández, 2008)

MS	Categoría
0,1 - 0,9	Normal
1 - 1,99	Leve
2 - 2,99	Poco fuerte
3 - 3,99	Fuerte
4 - 4,99	Muy fuerte
$>5$	Extremadamente fuerte

La sequia comienza cuando el valor del SPI se hace negativo por primera vez y culmina cuando el índice se hace positivo, denominadas secuencias o eventos secos, siendo este criterio aplicado para la determinación de la duración en la escala temporal mensual usadas en el estudio.

Según McKee et al, (1993) los valores del SPI continuamente negativos alcanzando el valor (-1) o inferior, son considerados una secuencia seca significativa relacionada con la deficiencia suficientemente importante de agua, mientras que los valores positivos se identifican con la categoría normal o húmeda.

La frecuencia de ocurrencia se determinó mediante el número de casos de sequía que se producen durante un periodo determinado, estableciendo así, la probabilidad empírica de que ocurra una sequía de determinada magnitud.

### **Estimación del índice de vulnerabilidad agrícola**

En esta investigación, para determinar la dependencia de las zonas de estudios a la actividad agrícola, se utilizó la metodología propuesta en el estudio “Metodología para el desarrollo cartográfico en la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo agroclimático” (FAO, 2011). Esta metodología propone un índice de vulnerabilidad agrícola, considerando diversas variables que condicionan la susceptibilidad del sector agrícola, representadas esencialmente por: el total de superficie cultivada, el tipo de tenencia de la tierra, la superficie de riego, el grado de intensificación de la agricultura y el total de población urbana y rural.

Es conveniente indicar que la vulnerabilidad de la agricultura en un área territorial determinada es el componente más complicado de caracterizar, debido principalmente a que se trata de una variable poco objetiva, compleja y prácticamente imposible de medir directamente. Es por ello que la decisión de mayor peso al momento de seleccionar el tipo de índice de variabilidad, estuvo en función a que la mejor manera de lograr una aproximación a un valor plausible de este tipo de variable es aplicando la teoría de indicadores, según la cual es posible establecer un valor cuantitativo a partir de la combinación adecuada de variables medibles, correlacionadas con la variable que se estudia, generando de esta manera una predicción aceptable.

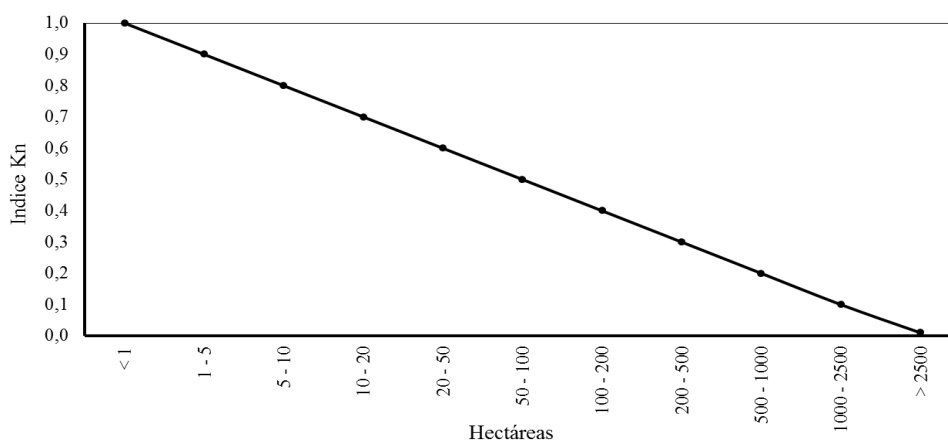
También, el uso de los índices aquí utilizados tiene como objetivo estimar la vulnerabilidad del sector agrícola a nivel de municipio, por lo tanto pueden ser reemplazables en la medida que se disponga de mejor información a nivel nacional o municipal, como por ejemplo, encuestas, entrevistas, registros de observación u otro tipo de muestreos que permitan expresar el valor de vulnerabilidad.

Para establecer la vulnerabilidad que presenta el sector agropecuario en la zona de estudio, fue necesario estimar las siguientes variables:

#### **a. Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra (FT)**

Para construir este indicador, el tamaño de la propiedad se transformó en una escala de vulnerabilidad según la función de transformación que se presenta en la figura 5. De esta manera, a cada rango de superficie del censo agropecuario se le asignó un nuevo valor

(Índice  $Kn$ ), el cual se pondera por la superficie que existe en ese rango en cada unidad territorial.



**Figura 5.** Distribución del Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra

Posteriormente se realizó la sumatoria de estos ponderados y se dividió por la superficie total del municipio, como se muestra en la ecuación 8. Este índice se basa en el supuesto de que el tamaño de la explotación está inversamente relacionado con la vulnerabilidad. De esta manera, un municipio en donde la tenencia de la tierra es mayoritariamente de pequeños agricultores, el factor FT es un valor cercano a uno, mientras que en una situación opuesta, es decir, en donde la tenencia de la tierra se asocia a grandes propietarios, el índice adopta un valor cercano a cero.

$$FT = \frac{(K_1 * ST_1 + K_2 * ST_2 + \dots + K_n * ST_n)}{ST} \quad (8)$$

Donde,  $Kn$ : índice de tenencia de la tierra;  $ST_n$ : Superficie ocupada por el estrato de tenencia 'n'.  $ST$ : Superficie total del municipio (descontadas las áreas protegidas y no sometidas a régimen de tenencia privada).

#### **b. Índice del balance riego/secano (IRS)**

Este índice clasifica los municipios de acuerdo a la fracción de tierra cultivable que se encuentra en una condición de secano y, por lo tanto, más vulnerable a las variaciones del clima (Ecuación 9). Así, un municipio que predominantemente muestre dicha condición será más inestable frente a un cambio ambiental, especialmente relacionado con cambios en el régimen de precipitaciones, presentando un IRS con un valor cercano a uno.



Contrariamente, en municipios donde la superficie cultivable está principalmente bajo una condición de riego, éstas deberían presentar una vulnerabilidad menor y, en consecuencia, adoptar un IRS con valores cercanos a cero.

$$IRS = \frac{SSEC}{ST} \quad (9)$$

Donde, *IRS* = Índice del Balance Riego/Secano; *SSEC* = Superficie de cultivos de secano; *ST* = Superficie total cultivada.

#### **c. Índice de Ruralidad (IRU)**

Corresponde a la fracción de población rural (PRUR) respecto a la población total (PTOT) de un municipio (Ecuación 10). Así, en municipios donde la mayor parte de la población se clasifica como rural el IRU se acerca a uno y, en aquellos con dominio urbano, el IRU presenta valores cercanos a cero. De esta manera, se consideran más sensibles o vulnerables aquellos municipios donde la población se desarrolla en un ambiente rural, asociable al sector agropecuario.

$$IRU = \frac{PRUR}{PTOT} \quad (10)$$

#### **d. Índice de Intensidad de la agricultura (IT)**

Interpreta el grado de intensificación que presenta la agricultura en un municipio, tomando en cuenta el tipo de agricultura y la superficie que ocupa. Así, considera para cada rubro, el capital necesario para el desarrollo de la actividad a través del factor de uso de capital y tecnología (UCT) requerido.

El factor UCT se construyó con base en el nivel de insumos y tecnologías utilizados por cada rubro productivo. Se estima, indirectamente, a través de los costos de producción (inversión inicial más costos de mantención anual expresados en costos por hectáreas al año) en: mano de obra (horas hombre), maquinarias (jornada tractor), plantas, pesticidas, fertilizantes, y otros.

Así, los rubros correspondientes a hortalizas y flores son los que requieren un mayor uso de capital y tecnología. Los pastos y forrajes, en cambio, corresponden a los más simples (Cuadro 6). Desde un punto de vista social, en general, los rubros más tecnificados y con

mayor capital son menos vulnerables frente a variaciones en la producción que los rubros más simples, los cuales están generalmente asociados a propietarios con menor poder adquisitivo.

**Cuadro 6.** Factor de Uso de Capital y Tecnología

Rubros	Uso de Capital y Tecnología (UCT)
Frutales	0,63
Cereales	0,53
Cultivos tropicales I (café y cacao)	0,33
Cultivos tropicales II (caña de azúcar y tabaco)	0,70
Hortalizas	0,83
Textiles y Oleaginosas	0,46
Raíces y tubérculos	0,46
Flores	0,96
Leguminosas	0,56
Pastos y Forraje	0,20

De este modo, el Índice de Intensidad de la Agricultura (IT) es evaluado para cada municipio, según la fracción de superficie ocupada por cada rubro ( $S_n$ ) respecto a la superficie total cultivada ( $ST$ ) y el respectivo UCT (Ecuación 11):

$$IT = \frac{UCT_1 * S_1 + UCT_2 * S_2 + \dots + UCT_n * S_n}{ST} \quad (11)$$

### Índice de Vulnerabilidad Agrícola (VA)

Como resultado de la integración de los diferentes índices mencionados, se establece el Índice de Vulnerabilidad Agrícola (VA) (Ecuación 12), que corresponde al promedio de los cuatro índices calculados anteriormente.

$$VA = \frac{FT + IRS + IRU + (1 - IT)}{4} \quad (12)$$

Como puede desprenderse del cálculo de las variables que componen la vulnerabilidad y del VA, todos estos componentes se expresan en términos adimensionales en una escala que varía entre 0 y 1, siguiendo las categorías de poco vulnerable (0,10 - 0,30); medianamente vulnerable (0,31 - 0,59) y altamente vulnerable (mayor a 0,60).

## Información base

La información requerida para la elaboración de los distintos índices se obtuvo del VII Censo Agrícola Nacional de Venezuela (Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, 2008). Por otra parte, los datos de población y superficie municipal se obtuvieron del XIV Censo Nacional de Población y Vivienda (INE, 2011a) a través de la Síntesis Estadística Estatal y los informes geo-ambientales por estados pertenecientes al Instituto Nacional de Estadística (INE, 2011b). De esta manera, se generó una base de datos con la información requerida para el cálculo de los distintos índices. En el Cuadro 7, se presenta un resumen del tipo de información y la fuente.

**Cuadro 7.** Información disponible para la aplicación metodológica del índice de vulnerabilidad agrícola

Tipo de Índice	Variable	Fuente	Disponible en	Formato
Ruralidad (IRU)	Población total municipal	XIV Censo Nacional de Población y Vivienda (2011)	Síntesis Estadística Estatal del Instituto Nacional de Estadística (INE)	Hoja de calculo Excel
	Población rural municipal			
Fragmentación de Tenencia de la Tierra (FT)	Superficie municipal ocupada por el estrato de tenencia	Anuario Estadístico Agropecuario (1985)	Ministerio de Agricultura y Cría, actual Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras.	Material impreso
	Superficie total municipal	Informe estatal geo-ambiental (2011)	Instituto Nacional de Estadística (INE)	pdf
balance riego/secano (IRS)	Superficie de cultivos de secano	VII Censo Agrícola Nacional (2008)	Aplicación Redatam+SP del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras	Hoja de calculo Excel
	Superficie total cultivada			
Intensidad de la agricultura (IT)	Nivel de insumos y tecnologías por rubro	VII Censo Agrícola Nacional (2008)	Aplicación Redatam+SP del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras	Hoja de calculo Excel
	Superficie total cultivada por rubro			

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características geográficas de las regiones naturales

En Venezuela, han sido reconocidas nueve grandes regiones naturales que, aunque sin homogeneidad en su territorio, presentan características relacionables que han servido para delimitarlas. De acuerdo con el MARN (2005) la geología general del país es muy variada y está estrechamente relacionada con las grandes formas de relieve o sistemas fisiográficos productos de una larga evolución en distintas eras geológicas. El cuadro 8, resume la extensión y ubicación de las estaciones agrometeorológicas dentro de los principales sistemas fisiográficos.

**Cuadro 8.** Características generales de las regiones naturales de Venezuela

Región Natural	Área total (km <sup>2</sup> )	Área incluida en la zona de estudio (km <sup>2</sup> )	Ubicación	
			Estado	Estación
Cordillera Central	53.000	2.181	Aragua Miranda	CENIAP Tapipa - Padrón
Llanos	280.000	14.985	Guárico Anzoátegui Portuguesa	Banco de San Pedro El Tigre Turén
Andes	45.000	1.047	Mérida Táchira	Mucuchíes Bramón
Sistema Coriano	52.000	4.152	Lara Yaracuy	El Cují Quíbor Yaritagua
Lago de Maracaibo	14.344	5.255	Zulia	El Guayabo

### Características climáticas

Por su condición tropical, el país presenta un régimen térmico uniforme durante el año, que sólo es influenciado por la altura. Su mayor diversidad está en las precipitaciones que oscilan entre 300 y 700 mm por año para las zonas más secas (áridas y semiáridas), entre 2.000 y 3.500 mm para las zonas húmedas y hasta 6.000 mm para las muy húmedas o pluviales (MARN, 2004; 2005).

La mayoría del territorio nacional posee un clima tropical lluvioso, con una época seca determinada por la Alta Presión del Atlántico y una época de lluvias generada por el avance de la Zona de Convergencia Intertropical. En el Cuadro 9, se presenta un resumen de los principales indicadores climáticos de las estaciones bajo estudio.

**Cuadro 9.** Características climáticas de las estaciones bajo estudio ubicadas por regiones naturales

Región Natural	Estación	Zona de vida	Precipitación media anual (mm)	Número de meses húmedos
Cordillera Central	CENIAP	Zonas subhúmedas de trópico pre montano	700-1600	4 -8
	Tapipa - Padrón	Zona húmeda de trópico bajo	>1800	>9
Llanos	Banco de San Pedro El Tigre Turén	Zona subhúmeda de trópico bajo	700 -1800	4 -8
Andes	Mucuchíes	Zonas húmedas de trópico pre montano	700 - 1200	4 -8
	Bramón	Zonas húmedas de trópico pre montano	>1600	>9
Sistema Coriano	El Cují	Zonas subhúmedas de trópico pre montano	700 -1600	4 -8
	Quíbor	Zonas húmedas de trópico pre montano	>1600	>9
	Yaritagua	Zonas húmedas de trópico bajo	>1800	>9
Lago de Maracaibo	El Guayabo	Zonas húmedas de trópico bajo	>1800	>9

### Características edafológicas

En la zona de estudio, existe una significativa diversidad de suelos con sus características físicas, químicas y biológicas, con cualidades importantes para la actividad agropecuaria y ciertas restricciones de manejo por la diversidad geológica del país, de paisajes. En los cuadros 10 y 11 se muestra un resumen de las características edáficas de los suelos representativos del área de influencia de las estaciones.

**Cuadro 10.** Características edáficas de los suelos representativos del área de influencia de las estaciones bajo estudio ubicadas en la región de la Cordillera Central y los Llanos en Venezuela

Región Natural	Estación	Características edáficas
Cordillera Central	CENIAP	Suelo franco arcillo limoso; oliva pálido (5Y 6/4 en seco); oliva grisáceo (5Y 4/2 en húmedo), moderadamente calcáreo de pH 7.6 en los primeros 26 cm de profundidad. Ubicado en la Serranía del Interior, con una pendiente rectilínea de 1 %. Suelo bien drenado.

	Tapipa - Padrón	Ubicado en la Serranía del Interior, con una variada topografía. Suelos con baja a muy baja fertilidad natural y bien drenado.
	Banco de San Pedro	Suelo franco arenoso; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2 en seco); pardo oscuro (7.5YR 3/2 en húmedo), no calcáreo; medianamente ácido de pH 5.6 en los primeros 33 cm de profundidad. Clasificación de campo: Typic Rhodudalfs, francosa gruesa e isohipertérmica, franco arenosa; ubicado en los Llanos ondulados centrales, con paisaje de planicie, relieve deposicional y una pendiente convexa de 1,5 %. Posee una permeabilidad moderada, suelo bien drenado.
Llanos	El Tigre	Suelo arenoso; pardo (10YR 4/3 en seco); pardo oscuro (7.5YR 3/2 en húmedo) de pH 5.9 en los primeros 25 cm de profundidad. Clasificación de campo: Typic Paleustults, francosa fina, Silíceo e isohipertérmica; cuyo ambiente geomorfológico está caracterizado por una estructura geológica de sedimentos recientes de los Llanos orientales, con paisaje de planicie y una pendiente convexa de 1,5 %. Posee rápido drenaje externo e interno, al igual que rápida permeabilidad, suelo excesivamente drenado.
	Turén	Suelo franco; gris oliva (5Y 5/2) en seco; gris oliva (5Y 4/2) en húmedo, moderadamente calcáreo de pH 7.8 en los primeros 16 cm de profundidad. Ubicado en los Llanos de Barinas – Portuguesa, con un paisaje de Planicie, Relieve deposicional y una pendiente rectilínea de 0,5 %. Suelo bien drenado.

**Cuadro 11.** Características edáficas de los suelos representativos del área de influencia de las estaciones bajo estudio ubicadas en la región de los Andes, Sistema Coriano y Lago de Maracaibo en Venezuela

Región Natural	Estación	Características edáficas
Andes	Mucuchíes	Suelo franco arenoso; gris claro (10YR 6/1 en seco); pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2 en húmedo), no calcáreo, fuertemente ácido de pH= 5.5 en los primeros 10 cm de profundidad. Clasificación de campo: Ustoxic Dystropepts, francosa fina, mixta e isohipertérmica, con paisaje de Piedemonte y relieve deposicional de pendiente convexo-cóncava de 4 %. Suelo bien drenado.
	Bramón	Suelo franco arenoso; pardo grisáceo (10YR 5/2, en seco); pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2, en húmedo), fuertemente calcáreo; neutro de pH 7.1 en los primeros 20 cm

		de profundidad. Clasificación de campo: Typic Hapludults, francosa gruesa e isohipertérmica, ubicado en la Depresión del Táchira con paisaje tipo montañas y pendiente cóncava de 10 %. Suelo bien drenado.
Sistema Coriano	El Cují	Suelo arcillo arenoso; marrón oscuro (10 YR 3/3) húmedo; marrón a marrón oscuro (10YR 4/3) seco, no calcáreo; fuertemente ácido de pH 5,1 en los primeros 18 cm de profundidad. Clasificación de campo: Mollisol. Pendiente rectilínea.
	Quíbor	Suelo franco arcillo limoso; pardo (10YR 5/3 en seco); pardo oscuro (10YR 4/3 en húmedo), fuertemente calcáreo de pH 8.0 en los primeros 20 cm de profundidad. Clasificación de campo: Haplargids, franco Arcillo Limoso. Ubicado en la provincia fisiográfica de Valles y Serranías de Falcón- Lara-Yaracuy, de la Región Natural denominada Depresión de Carora, con pendiente Rectilínea de 1,5 %.
	Yaritagua	Suelo franco; pardo grisáceo (10YR 6/2 en seco), pardo oscuro (10YR 4/3 en húmedo), no calcáreo de pH: 7.6 en los primeros 13 cm de profundidad. Perteneciente a la región natural denominada Serranía del Interior, con una pendiente rectilínea de 1 %. Suelo pobremente drenado.
Lago de Maracaibo	El Guayabo	Suelo franco; pH entre neutro y ácidos en los primeros 40 cm de profundidad, con bajos contenido de materia orgánica y de medianos a alto el contenido de calcio y magnesio. Clasificación de campo: Fluventic Eutropept, ubicado en la región natural del Sur del Lago con un paisaje tipo planicie aluvial y relieve deposicional. Pendiente entre 0-3%. Suelo mal drenado.

### Sistemas agrícolas y usos predominantes

Con relación a las limitaciones y potencialidades de las tierras, basadas en las características de los suelos y de clima, el 44% de las tierras en Venezuela tiene como principal limitante el relieve y en consecuencia riesgos de erosión, el 32% tiene problemas de fertilidad o de nutrición para las plantas cultivadas, el 18% limitaciones de drenaje, el 4% limitaciones de agua y aridez y sólo el 2% del territorio nacional posee tierras de buena calidad, la cual pudiera ser ampliada al 4% si se regaran las áreas con mayor potencial agrícola en las zonas secas y se drenaran las áreas con mayor posibilidad de resolver este problema en otras zonas del país (Comerma y Paredes, 1978).

Con respecto a las estaciones ubicadas en la cordillera central (Cuadro 12) es de resaltar que las fuentes de agua son escasas, presentando altas tasas de deforestación y erosión de los suelos. La actividad agrícola de conuco que subsiste en Tapipa-Padrón compite con el

turismo, mientras que en el caso de la estación CENIAP los usos urbanos e industriales han reducido significativamente la tradición agrícola del estado Aragua.

En la región natural de los Llanos (Banco de San Pedro y Turén) hay una alta potencialidad para el aprovechamiento del recurso hídrico, agricultura mecanizada principalmente de arroz y maíz, ganadería extensiva y semi-intensiva, actividades que serían afectadas negativamente por las sequías.

Aquellas zonas cuyas características socioeconómicas de los productores no hacen uso de los acuíferos en el Sur de Anzoátegui (El Tigre), presentan alto riesgo ante la sequía, especialmente sobre la producción de oleaginosas como el maní y otros rubros importantes tales como el sorgo, yuca, ocumo, ñame y maíz.

**Cuadro 12.** Aptitud agrícola de las tierras en el área de influencia de las estaciones bajo estudio ubicadas en la región de la Cordillera Central y los Llanos en Venezuela

Región Natural	Estación	Sistemas agrícolas y usos predominantes
Cordillera Central	CENIAP	Hortalizas de pisos intermedios y altos (papa, lechuga, repollo) combinadas con las de piso bajo (hasta los 800 msnm), Frutales (cítricos, mango, aguacate, cambures, guayaba); plantaciones (caña de azúcar, piña y coco); cultivos anuales mecanizados (maíz, leguminosas de granos); ganadería semi-intensiva (bovina) e intensiva (aves, cerdos y bovina de leche y ceba)
	Tapipa - Padrón	Predominan áreas de selva tropical poco intervenida y protegida para la conservación de la biodiversidad y de los recursos hidrológicos, con agricultura de subsistencia (conucos migratorios). En otras localidades hay intervenciones con plantaciones comerciales de palma aceitera, cacao y ganadería extensiva y semi-intensiva.
Llanos	Banco de San Pedro	Ganadería bovina extensiva (trashumantes); ganadería bufalina (semi-intensiva); agricultura de subsistencia y semi-comercial en vegas y algunas áreas altas; pesca y acuicultura; cereales con alta mecanización y uso de insumos.
	El Tigre	Ganadería bovina extensiva y semi-intensiva; cultivos anuales mecanizados (cereales, leguminosas y oleaginosas); Plantaciones forestales (pinos y eucaliptos); frutales comerciales (cítricos, mango y guayaba); Hortícolas de piso bajo; Agricultura de subsistencia y semi-comercial (Yuca, maíz, frijol, ajíes y otras hortalizas en pequeñas superficies)
	Turén	Los cultivos más importantes son: maíz, arroz, ajonjolí, girasol, sorgo, caña de azúcar, tabaco y café. En segundo lugar están las actividades pecuarias y madereras.



Para el caso de las estaciones Mucuchíes y Bramón (Cuadro 13) estas son consideradas tierras inadecuadas para cultivos generalmente, pero admiten ciertos cultivos ocasionales o muy limitados, con métodos intensivos, debido a que requieren un manejo cuidadoso. En esta región de los Andes venezolanos las tierras son usadas para cultivos agrícolas restringidos, pasto e incluso producción forestal.

Las estaciones ubicadas en el sistema coriano tienen la particularidad de que son tierras apropiadas para cultivos permanentes utilizando métodos intensivos. Donde los suelos tienen severas limitaciones que reducen la elección de plantas a sembrar en estas zonas o requieren prácticas de conservación de suelos y aguas. Entre las actividades económicas que se desarrollan en la zona están la comercial, la financiera, industrial, agroindustrial y agrícola, relacionada con los rubros de café, papa y horticultura de pisos altos en las áreas más húmedas y caña de azúcar y hortalizas de piso bajo con riego en las áreas secas, y los cultivos de piña y sisal; ganadería de doble propósito y de leche con una raza de desarrollo local (El Cují), considerada como patrimonio nacional (raza Carora).

En la región lago de Maracaibo (El Guayabo) los suelos tienen pocas limitaciones para el uso, tienen las características y cualidades favorables para el crecimiento y desarrollo de variedades de plantas (cacao, plátanos y oleaginosas).

**Cuadro 13.** Aptitudes agrícolas de las estaciones bajo estudio ubicadas en la región de los Andes, Sistema Coriano y Lago de Maracaibo en Venezuela

Región Natural	Estación	Sistemas agrícolas y usos predominantes
Andes	Mucuchíes	Sistema de producción agrícola de hortalizas de piso alto (papa, zanahoria, cebollín, coliflor, repollo); uso pecuario (ganadería extensiva de doble propósito)
	Bramón	Plantaciones (café, plátanos, cacao y piña) frutales (cítricas, aguacate y cambures), leguminosas de grano, raíces y tubérculos (semi-comercial); hortalizas de pisos intermedios y altos (papa, lechuga, repollo) combinadas con las de piso bajo (hasta los 800 msnm), ganadería intensiva Leche y ceiba)
Sistema Coriano	El Cují	Hortalizas de pisos intermedios y altos (papa, lechuga, repollo) combinadas con las de piso bajo (hasta los 800 msnm); Frutales (cítricos, mango, aguacate, cambures, guayaba); plantaciones (caña de azúcar, piña y coco); cultivos anuales mecanizados (maíz, leguminosas de granos); ganadería semi-intensiva (bovina) e intensiva (aves, cerdos y bovina de leche y ceiba)
	Quíbor	Plantaciones (café, plátanos, cacao y piña); frutales (cítricas, aguacate y cambures); leguminosas de grano, raíces y tubérculos (semi-comercial); hortalizas de pisos intermedios y

		altos (papa, lechuga, repollo) combinadas con las de piso bajo como cebolla (hasta los 800 msnm) y ganadería.
	Yaritagua	Algunas áreas como reserva forestales, otras con potaciones (cacao, plátanos y palma aceitera) ganadería bovina semi-intensiva y agricultura de subsistencia semi-comercial
Lago de Maracaibo	El Guayabo	Algunas áreas con explotaciones de cacao, plátanos y palma aceitera; ganadería bovina semi-intensiva y agricultura de subsistencia semi-comercial.

La figura 6 muestra un resumen de las características generales de las unidades eco-territoriales que corresponden a cada estación agrometeorológica bajo este estudio. La estación de Turén corresponde con la unidad eco-territorial denominada (A1), la cual se caracteriza por ser una zona plana con suelos de buen drenaje y buena fertilidad natural; la estación El Tigre (A4) tiene la particularidad de que es un área plana con suelos de baja a muy baja fertilidad natural con drenaje de tendencia excesiva. La estación Banco de San Pedro (A5) posee la principal característica de que es un área baja con suelos con problemas de inundaciones sin o con poca factibilidad de drenaje. Dentro de las orientaciones para su uso y manejo sostenible de estas unidades eco-territoriales están la adecuación de las combinaciones de cultivos principales (cereales) con los de segundo ciclo (oleaginosas y leguminosas), con una labranza y manejo de coberturas apropiadas.

Dentro de la unidad eco-territorial (B1) se encuentra la estación Tapipa-Padrón, cuyas condiciones que determinan el uso agrícola están asociadas a áreas de variada topografía con suelos de baja a muy baja fertilidad natural. Dentro de las orientaciones de manejo sostenible están la agricultura tradicional con enfoque de agro silvicultura donde se combinen especies permanentes típicas de la zona (árboles frutales y arbustos) con o después de cultivos limpios como la yuca, batata y otras raíces.

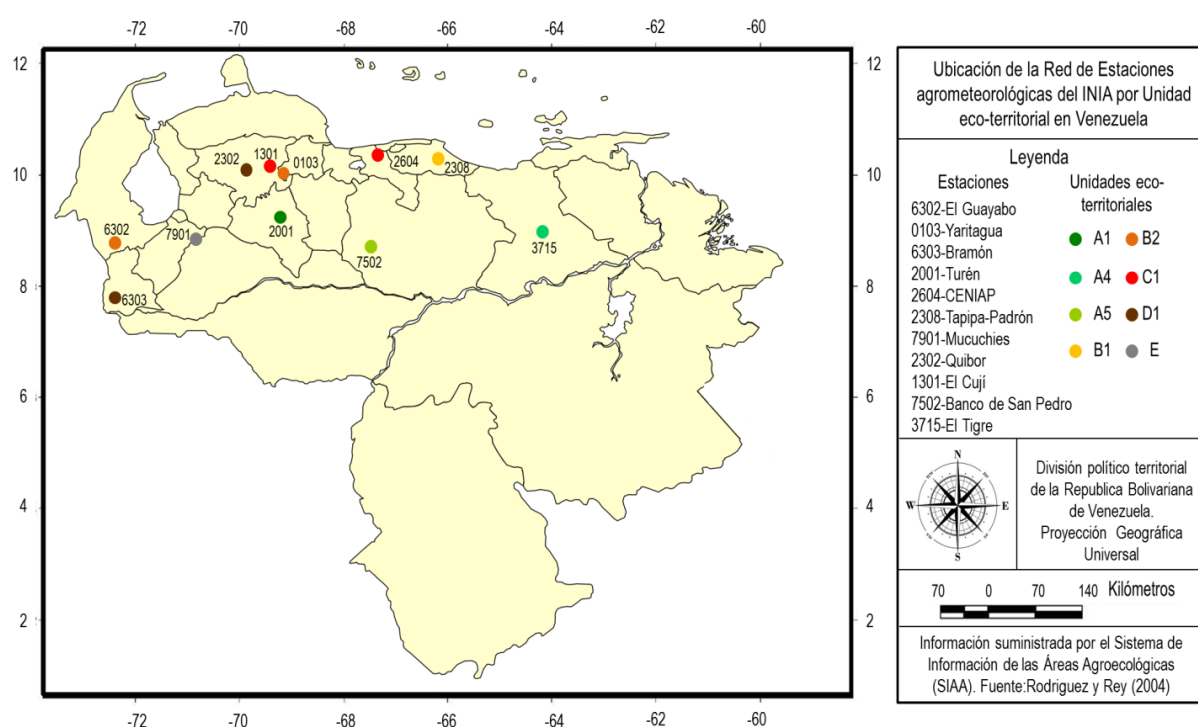
Por otro lado, las estaciones Yaritagua y El Guayabo se ubican dentro de (B2), las cuales son áreas con predominio de topografía plana con suelos de moderada a buena fertilidad natural; en estas zonas se debe planificar el uso de plantaciones tropicales (palma aceitera, plátanos, cacao, caucho, teca y otras especies forestales), con potencial para sistemas agrosilvopastoriles, pastizales y suplementación para el fortalecimiento de la ganadería semi-intensiva.

Las principales características de las estaciones CENIAP y El Cují (C1) son los suelos con buen drenaje y la buena fertilidad natural de los suelos en las áreas planas y el riesgo de erosión en las de mayor pendiente; cuyas orientaciones de uso sostenible están orientadas a

mejorar las rotaciones o combinaciones de cultivos anuales, en áreas planas, donde sea factible el riego (maíz, leguminosas, melón y otros frutales de ciclos cortos) con fertilización (combinación de inorgánicos y bio-fertilizantes), labranza y preparación adecuada del suelo e igualmente para las hortalizas y frutales con prácticas culturales asociada a la poda y al control de malezas y manejo integrado de plagas y enfermedades.

Las principales limitantes en las estaciones Bramón y Quíbor (D1) son la erosión y acidez de los suelos que coexisten con algunas áreas de mejor fertilidad, en las zonas de mayor pendiente con horticultura y frutales prácticas de conservación y recuperación de suelos y aguas (curvas de nivel, coberturas, aplicación de enmiendas orgánicas, barreras vivas, terrazas, zanjas de desviación); para las zonas planas, mejorar las rotaciones o combinaciones de cultivos anuales.

La vulnerabilidad a la erosión y riesgos de contaminación de cuerpos de agua son las mayores limitantes para Mucuchíes (E), donde la conservación de la biodiversidad y de los recursos hídricos es el destino de las áreas de los picos andinos.



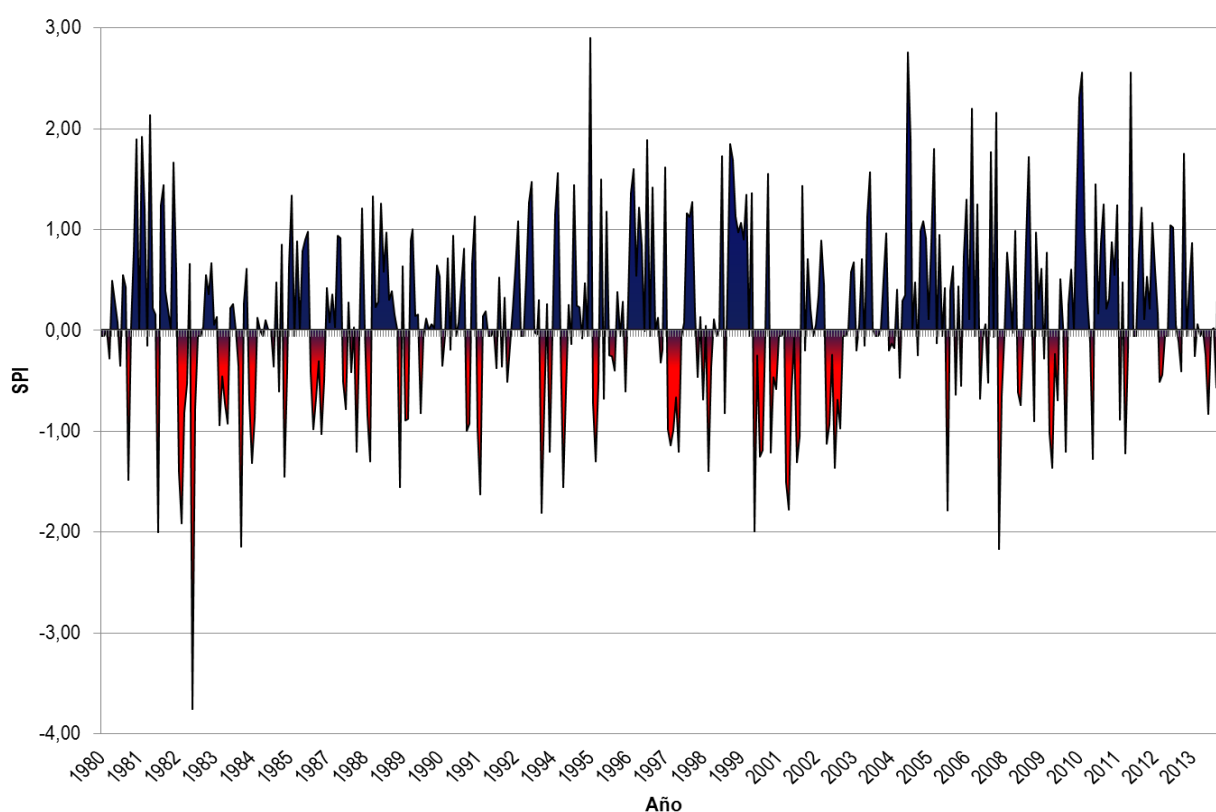
**Figura 6.** Ubicación de la red de estaciones agrometeorológicas del INIA por unidad eco-territorial en Venezuela (Fuente: INIA, 2014)

## Caracterización de los eventos de sequía mediante el SPI

### Intensidad de la sequia

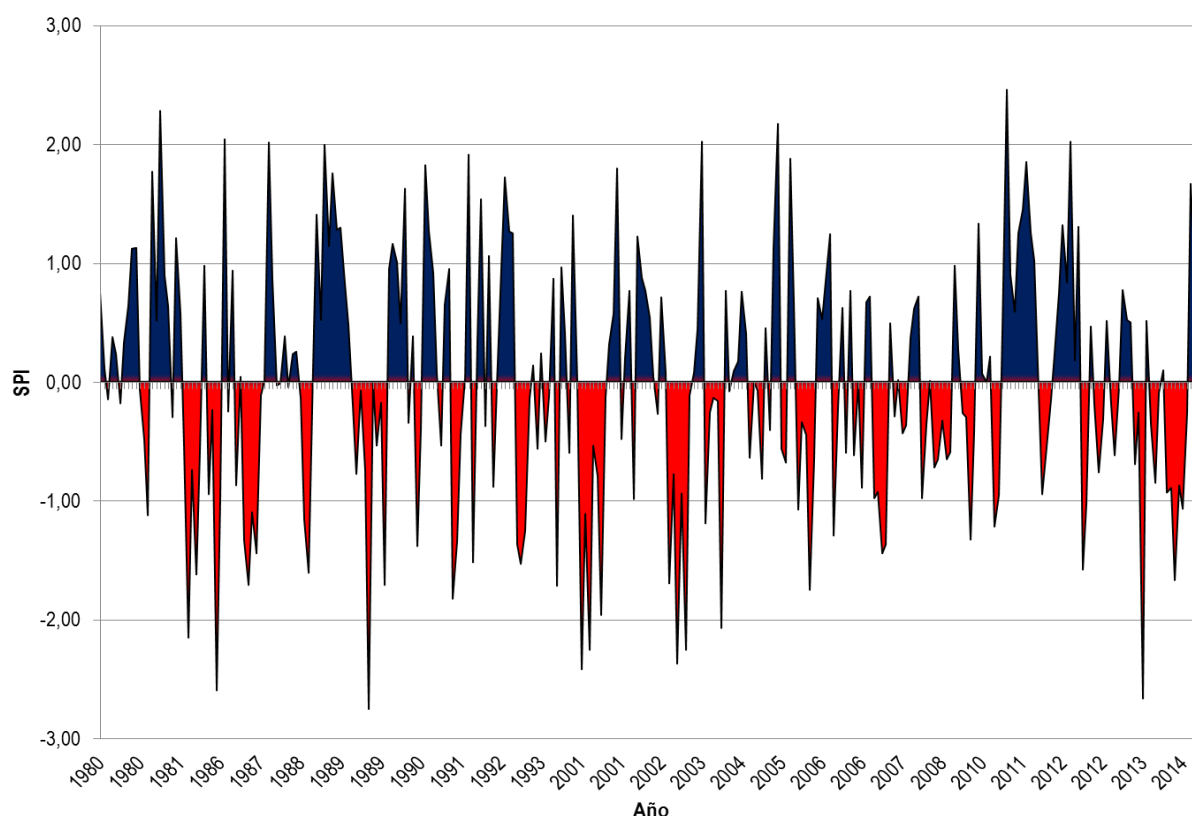
El valor del SPI mensual representa la intensidad de la sequía, es decir, que tan grande es el déficit de precipitación, de acuerdo a la escala temporal utilizada, la cual se calcula sistemáticamente, para cada mes, y no representa necesariamente la gravedad de la totalidad del evento seco, ya que para establecer la gravedad del evento de sequía se requiere del análisis de la magnitud y duración, aunado al de la intensidad.

La figura 7 muestra la intensidad de la sequía de todo el período de registro en la estación CENIAP. De acuerdo a los registros de lluvia de la estación se presentaron valores de sequía extrema (SPI  $-2$  o menos) que representan el 1,89%, mientras que la intensidad severa (SPI entre  $-1,99$  a  $-1,5$ ) alcanzó el 2,27%. La Intensidad predominante es la moderada (SPI entre  $-1,49$  a  $-1$ ) constituida por 6,82% del total de SPI mensuales evaluados.



**Figura 7.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2013) en la estación CENIAP.

Los valores de intensidad de la sequía para la estación Tapipa-Padrón se presentan en la figura 8. De acuerdo a los registros de precipitación se presentaron valores de sequía extrema que constituyen el 3,18%, mientras que la intensidad severa representa el 4,14%. La intensidad que predomina es la moderada, la cual se presenta en un 7,01% del total de SPI mensual.

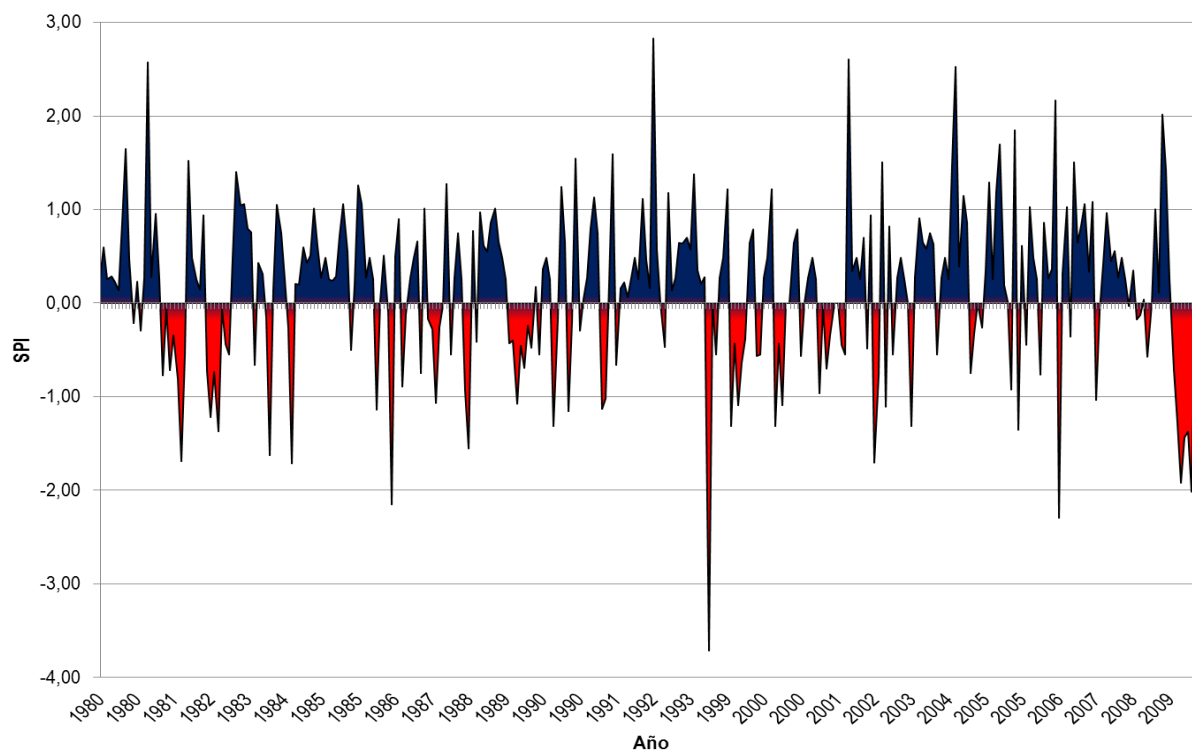


**Figura 8.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación Tapipa-Padrón.

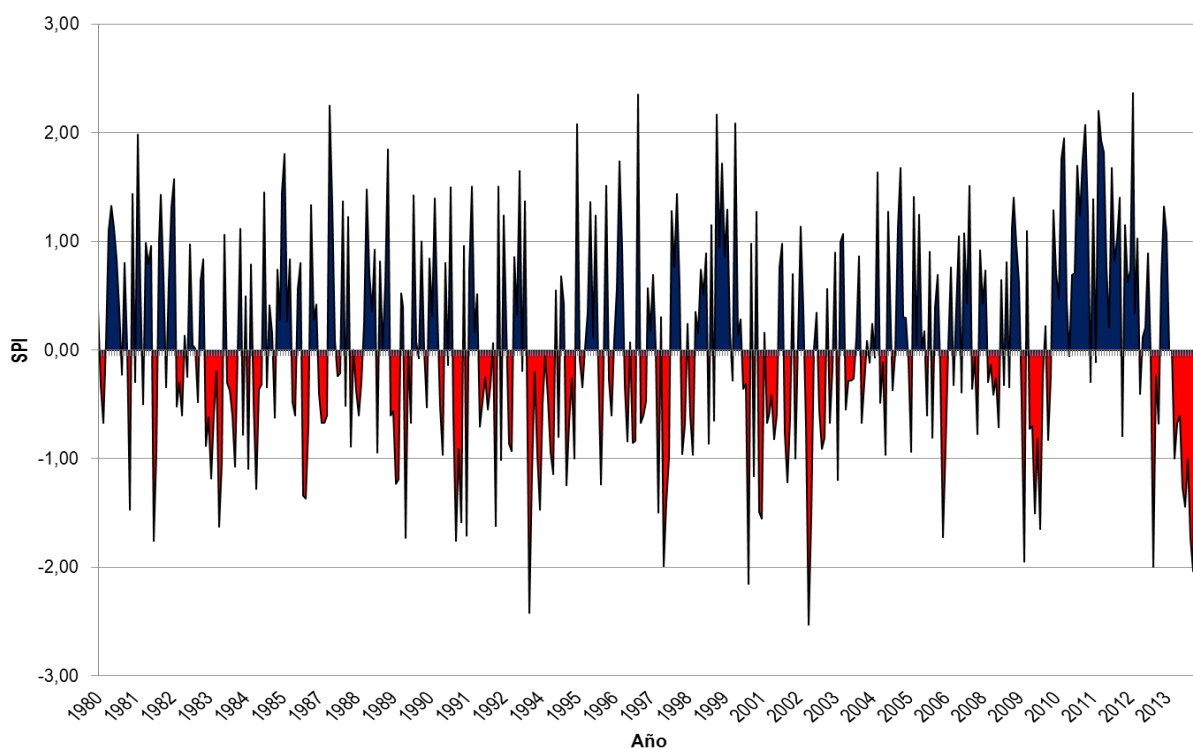
La intensidad de la sequía de todo el período de registro en la estación Banco de San Pedro se presenta en la la figura 9. En función a la lluvia caída en esta zona se presentaron valores de sequía extrema que representan el 1,31%, mientras que la intensidad severa alcanzó el 2,09%. Al igual que el resto de las estaciones, la intensidad predominante es la moderada, constituida por 7,07% del total de SPI mensuales evaluados.

El transcurso del SPI mensual para el periodo evaluado en la estación El Tigre, se ve reflejado en la figura 10; predominando la intensidad moderada con un 6,63% del total de SPI mensuales. Los valores de sequía extrema representan el 1,33% y la intensidad severa el 4,36%. Se destaca que los meses de normales a secos abarcan desde diciembre a marzo, destacando abril como el mes más seco en algunos años evaluados. Por el contrario los

valores del SPI muy húmedos y extremadamente húmedos mayormente se concentran en el trimestre de junio a agosto.

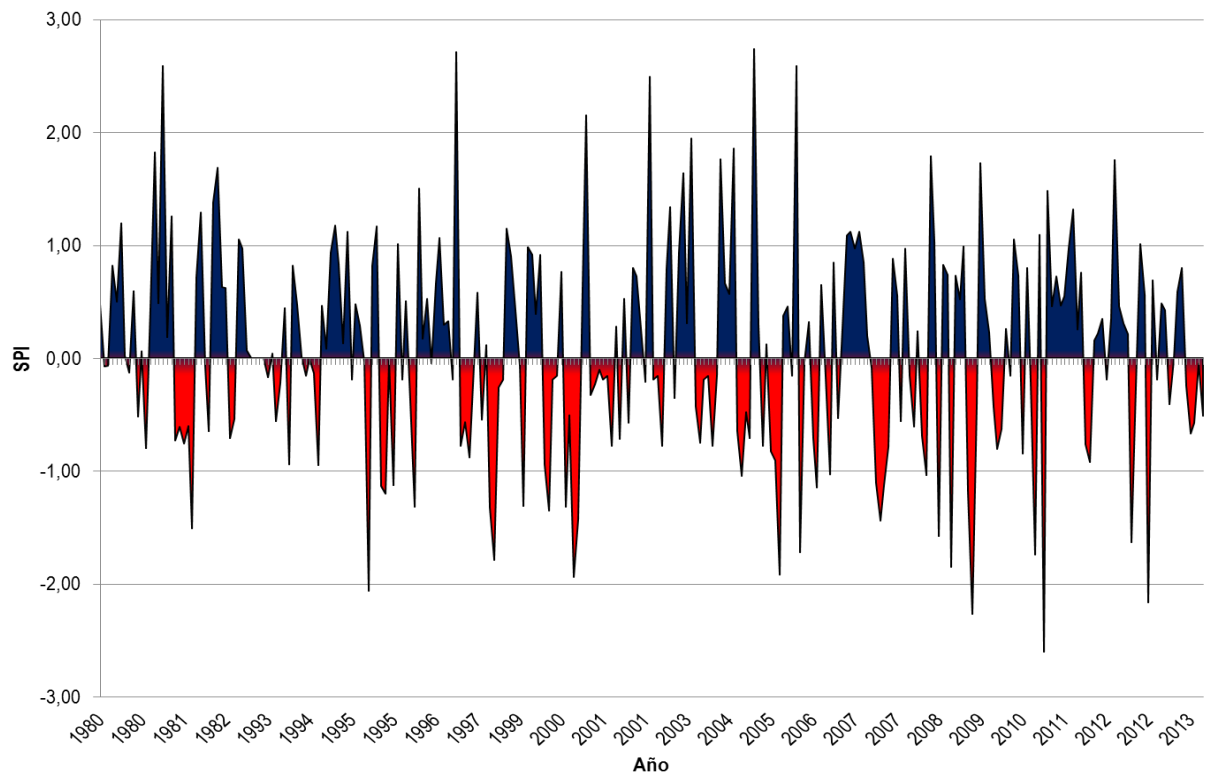


**Figura 9.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2009) en la estación Banco de San Pedro.



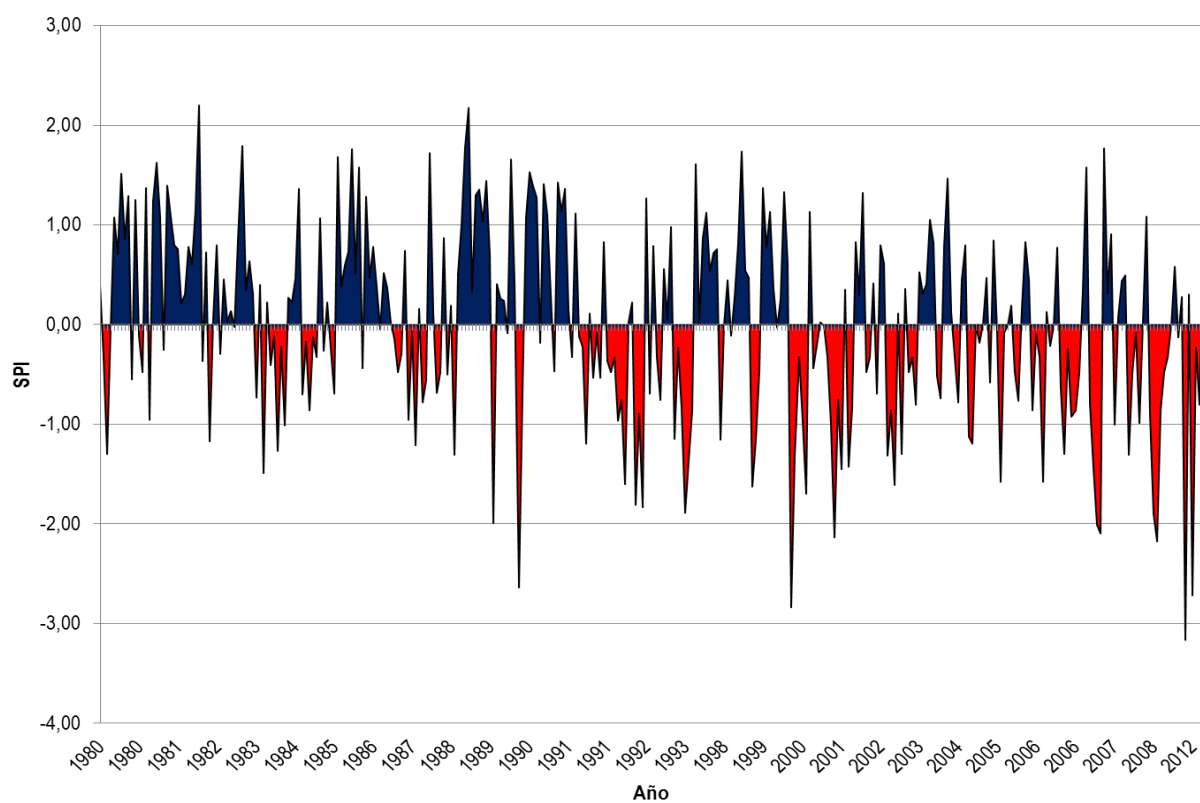
**Figura 10.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2013) en la estación El Tigre.

La figura 11 presenta la intensidad de la sequía en la estación Turén, en la cual se reportaron valores de sequía extrema en un 1,83% del total de SPI mensuales, por su parte, la intensidad severa alcanzó un 3,13% y la intensidad moderada fue de un 7,83% del total de SPI de la serie histórica.

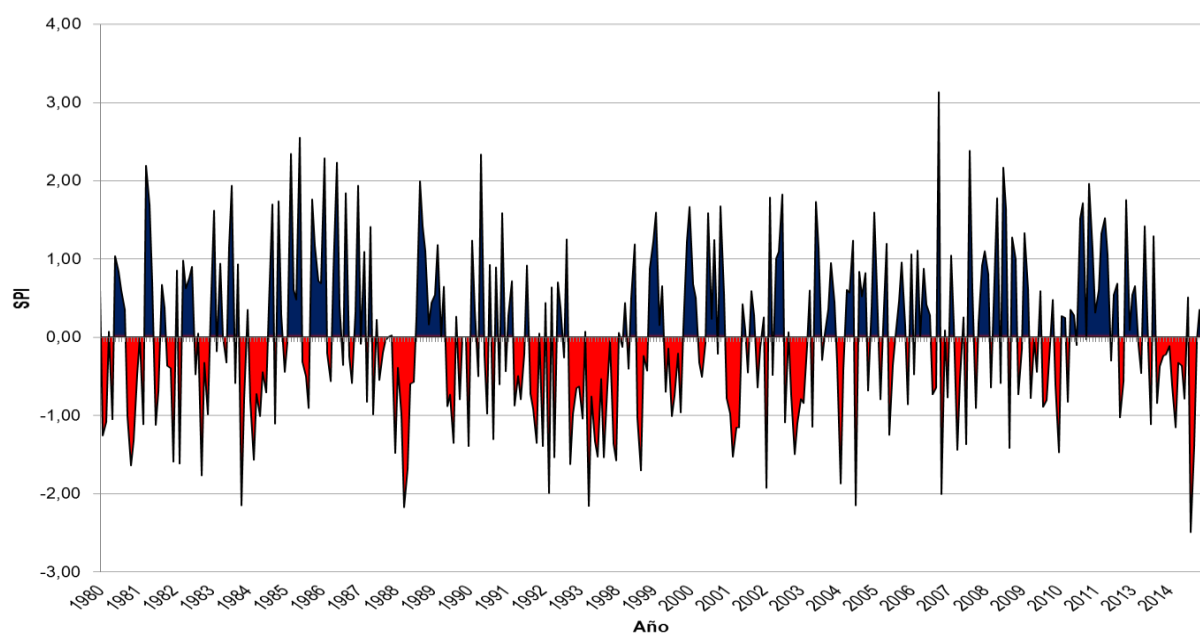


**Figura 11.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2013) en la estación Turén.

Para la estación Mucuchíes, los valores de sequía extrema representan el 1,90% del total de SPI mensuales, la intensidad severa alcanzó un 3,10% y la intensidad moderada fue de un 7,14% (Figura 12). En la estación Bramón se hallaron valores de intensidad severa, los cuales constituyen el 4,65%, intensidad extrema con un 1,90% y finalmente, la intensidad moderada con un 9,30%. Conviene resaltar que los valores del SPI muy húmedos y extremadamente húmedos para esta estación se concentran mayormente en el trimestre de septiembre a noviembre; y en ciertos años (1983, 1987, 1999, 2000, 2005 y 2006) los meses secos tales como diciembre, enero y febrero presentaron valores dentro de la categoría muy húmedo (Figura 13).



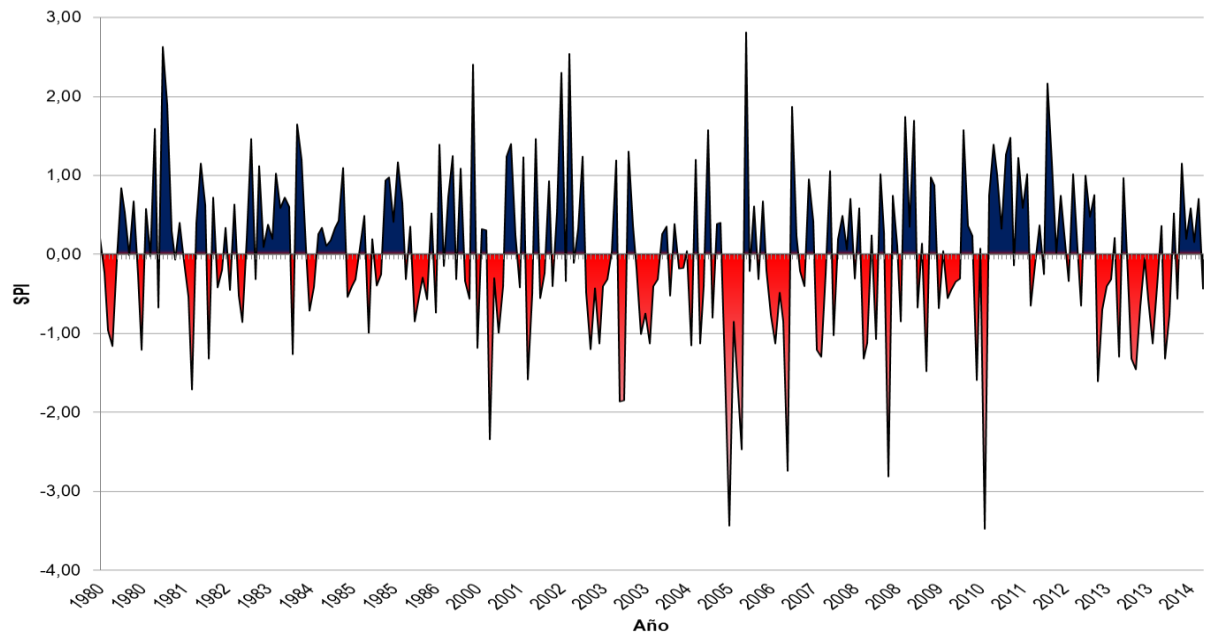
**Figura 12.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2012) en la estación Mucuchies.



**Figura 13.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación Bramón.

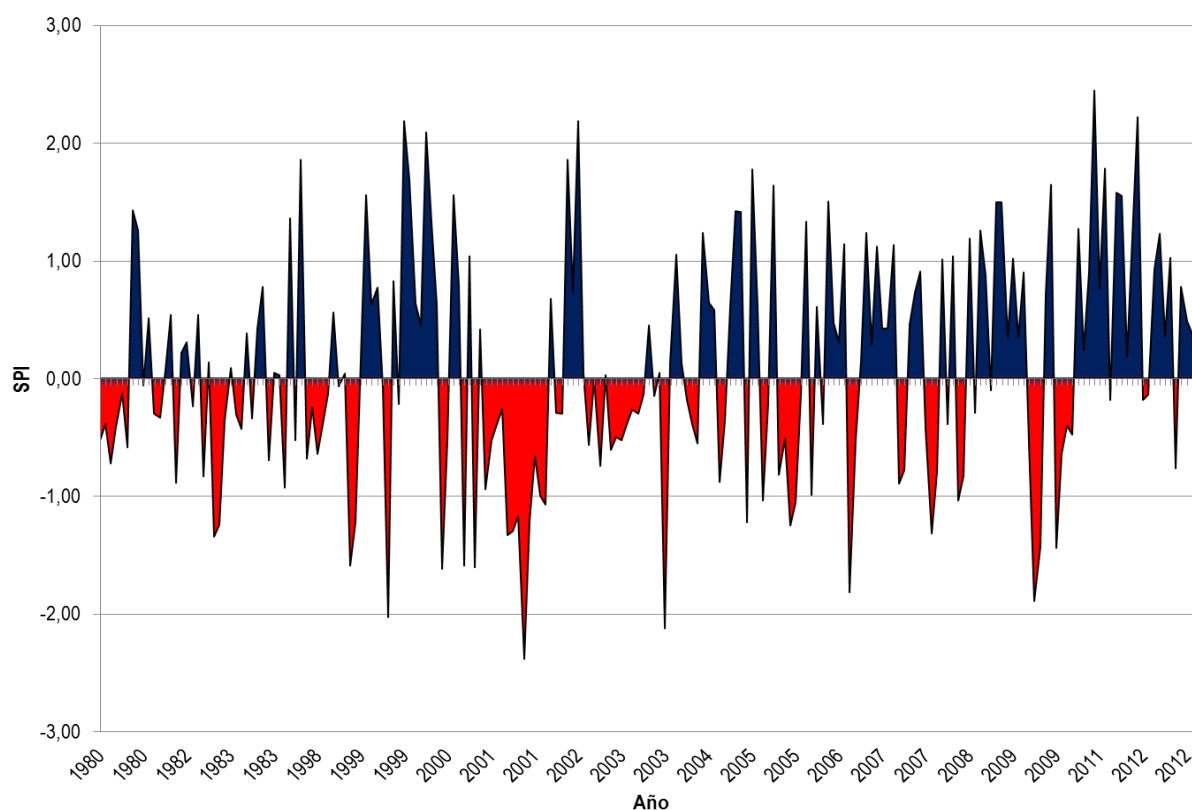


La figura 14 muestra la intensidad de la sequía en la estación El Cují. De acuerdo a la precipitación registrada en esta zona se presentaron valores de sequía extrema en el 1,59%, de los años, mientras que la intensidad severa alcanzó el 2,39%. Nuevamente, la intensidad moderada predomina en esta estación con un 8,22% del total de SPI mensual.



**Figura 14.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación El Cují.

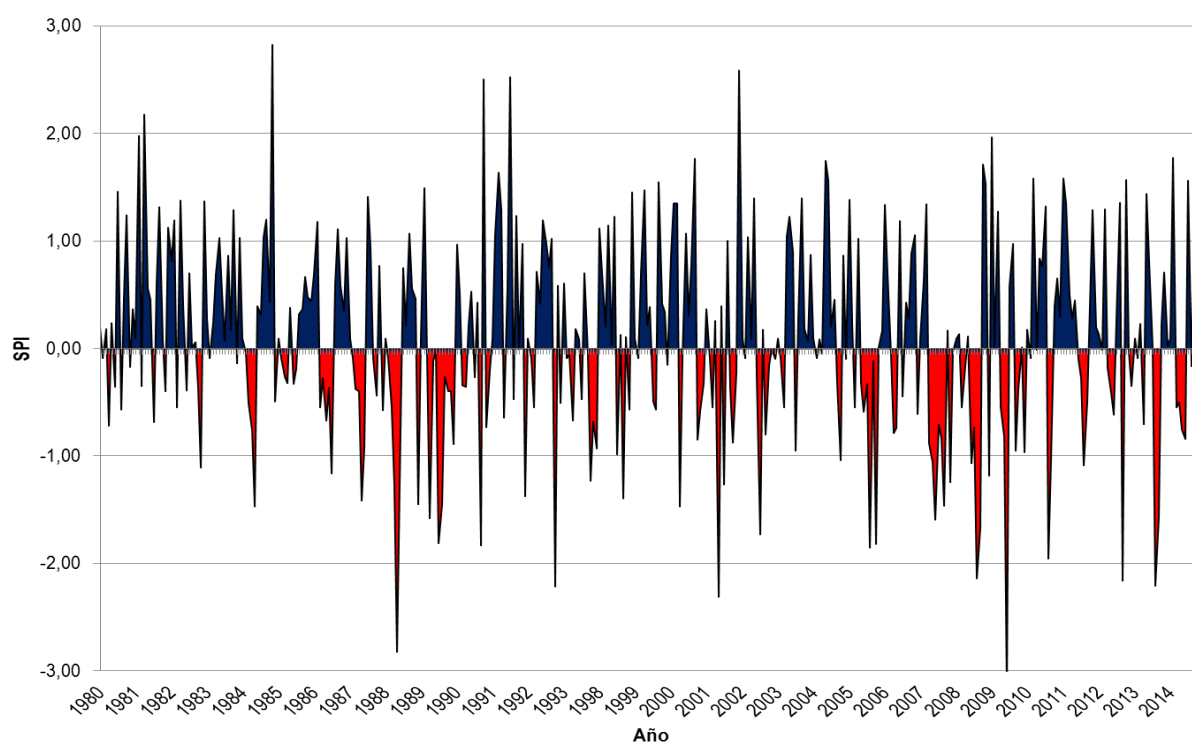
En la estación Quíbor, los valores de sequía extrema representan el 1,34% del total de SPI mensuales, la intensidad severa alcanzó un 2,68% y la intensidad moderada fue de un 9,38% (Figura 15). Tal y como se observa, el año 2001 presentó una sequía que inicio en abril y finalizó en agosto. En estas zonas subhúmedas secas, el agua disponible en condiciones normales es apenas suficiente para mantener las actividades agrícolas de subsistencia, por ende cualquier disminución, incluso tan pequeña que no pueda considerarse como una sequía, tiene impactos negativos, que serán sumamente graves a largo plazo.



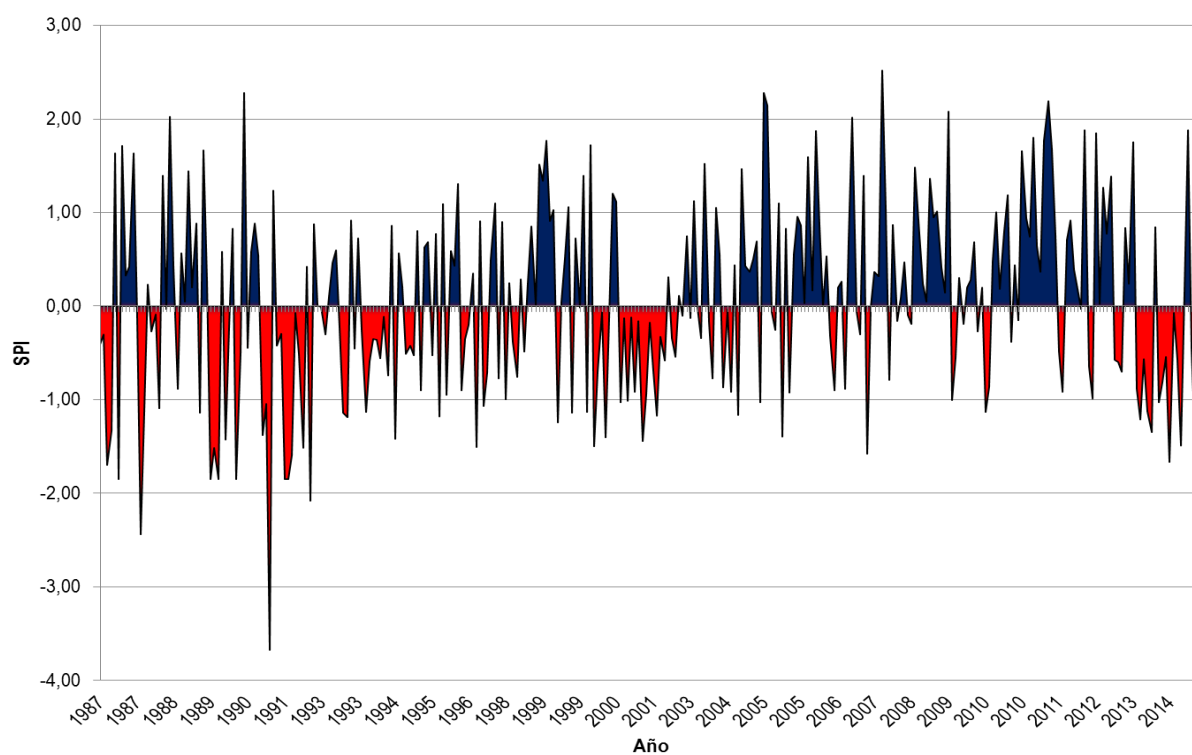
**Figura 15.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2012) en la estación Quíbor.

El transcurso del SPI mensual para el periodo evaluado en la estación Yaritagua, se ve reflejado en la figura 16; predominando la intensidad moderada con un 5,75% del total de SPI mensuales. Los valores de sequía extrema representan el 2,05% y la intensidad severa el 3,49%. En cambio, la estación El Guayabo, se hallaron valores de sequía extrema los cuales representan el 1,08%, mientras que la sequía severa estuvo constituida por el 5,14% y la sequía moderada en un 10,54% del total (Figura 17).

Finalmente, al considerar el SPI mensual, se obtienen un total de sequías que supera los 320 eventos en las estaciones bajo estudio, que representan un 9,56% del total de casos posibles, de acuerdo a los datos obtenidos se tiene una sequía con una duración mínima de uno o dos meses consecutivos cada dos años, que afecta al menos a una de las estaciones en el área de estudio. Esto indica que los procesos biológicos, muchos de los cuales ocurren en días o semanas, son muy vulnerables en el área de estudio.



**Figura 16.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación Yaritagua.



**Figura 17.** Transcurso del SPI mensual para el periodo (1980-2014) en la estación El Guayabo.

Resumiendo, es interesante indicar que aquellas estaciones agrometeorológicas con mayores valores de intensidad no necesariamente son zonas donde la sequía ocurra frecuentemente. A manera de ejemplo, en una estación determinada pueden haber ocurrido solo 8 sequías en todo el período de registro, pero si esas 8 sequías tuvieron SPI muy bajos, su intensidad estaría ubicada en la categoría de severamente seco (-1,99 a -1,5); mientras que en otra estación pueden haber ocurrido 20 eventos, pero todas ellas de intensidad moderada, de modo que el valor de la intensidad se ubicaría en la categoría de moderadamente seco (-1,49 a -1,0).

Según Lapinel y Báez (2007), a propósito del nivel de agrupamiento presentado en esta investigación, indican que la intensidad del SPI mensual refleja la condición de sequía inmediata, por lo que es un indicativo de la humedad en el suelo y el stress vegetativo, lo cual permitiría establecer ciertos impactos y medidas preventivas en comunidades rurales y agrícolas. A raíz de esto, Hare y Ogallo (1993) reseñan que los procesos atmosféricos que conducen a la sequía son muy complejos, destacando la escasez de humedad atmosférica, la insuficiencia de sistemas generadores de lluvia, la persistencia de una fuerte subsidencia o una combinación de alguno de los factores mencionados.

Venezuela es uno de los países débilmente afectado por el fenómeno El Niño debido a que el sistema climático tiene una menor dependencia del Océano Pacífico. De acuerdo con estudios realizados por CONICIT (1998); Martelo (2000); Cárdenas et al. (2002) y Martelo (2003); se puede afirmar que los eventos El Niño en el país están relacionados con situaciones de sequía e incremento de la temperatura. Se podría establecer que sobre el territorio nacional se mezclan situaciones de influencia de la Zona de Convergencia Intertropical del Atlántico y del Pacífico, combinaciones de vaguadas en altura, y restos de frentes fríos de origen Sur y Norte. Dado que El Niño tiene su efecto entre diciembre y abril, que corresponde con la época seca en el país, esta se hace más cálida y árida que en condiciones normales, afectando el inicio de la época lluviosa.

Los resultados arrojados en esta investigación coinciden con los reportados por Hernández (2008), quien usó el índice de precipitación estandarizada con agrupación semestral y mensual para caracterizar esta condición en los Llanos Centro Orientales de Venezuela. Del mismo modo, La Cruz et al. (2014), establecieron que las zonas del Sur de Anzoátegui, y el Centro de Guárico son las regiones con mayor probabilidad de ocurrencia de años secos en la unidad de estudio constituida por zonas de importancia agrícola de los llanos

venezolanos. Las zonas con mayor recurrencia de años secos también concuerdan con las reportadas en el estudio por Paredes et al. (2014).

### **Magnitud de la sequía**

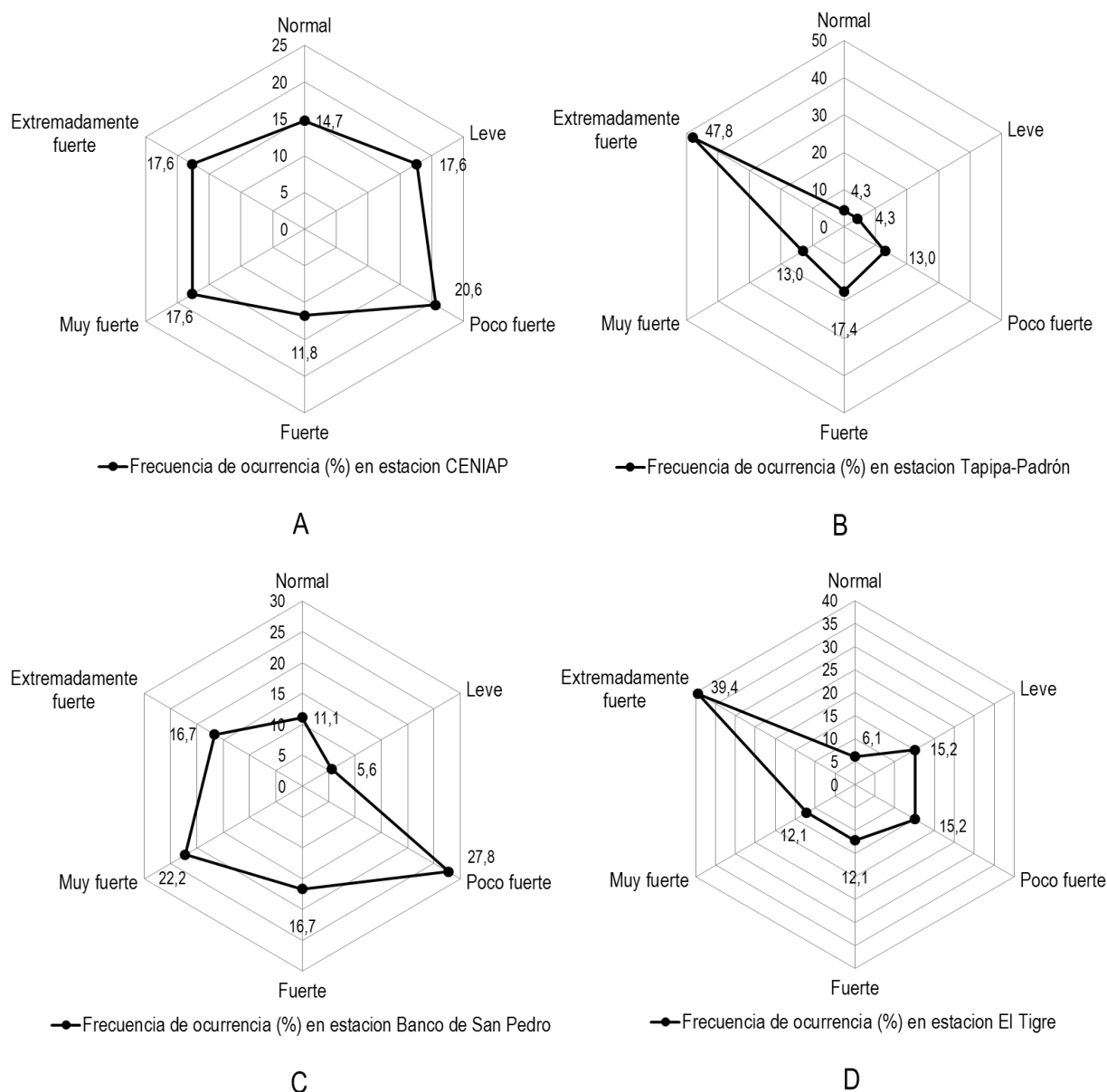
Para describir la gravedad de los eventos de sequía según el SPI mensual, se calculó la magnitud de cada una de las sequías detectadas; clasificadas en cinco clases anteriormente señaladas. Por consiguiente, se presentan los gráficos que reflejan su frecuencia de ocurrencia, en otras palabras, para cada clase de magnitud se grafica el riesgo de que se presente una sequía de esa magnitud. El hecho de establecer este tipo de caracterizaciones basadas en los resultados de la magnitud, constituye la fuente primordial para desarrollar una planificación estratégica, que esté orientada a tomar decisiones para hacer frente de manera eficiente y eficaz al problema de la sequía en estas zonas de importancia agrícola para el país.

De acuerdo con los resultados de magnitud, predominan las sequías poco fuertes en las estaciones CENIAP (Figura 18a) y Banco de San Pedro (Figura 18c), seguidas de las extremadamente fuertes en las estaciones Tapipa-Padrón (Figura 18b) y El Tigre (Figura 18d). Como la Magnitud depende tanto de la duración como de la intensidad, en general las sequías de magnitud leve y poco fuerte están asociadas a duraciones de una agrupación temporal, (solo un mes), aunque puedan tener una intensidad alta.

Las sequías de magnitudes muy fuerte y extremadamente fuerte están en función de duraciones de varias agrupaciones temporales consecutivas (varios meses consecutivos), pero a intensidades severas y extremas. Según Hernández (2008), en el caso de las frecuencias de sequías extremadamente fuertes, se evidencia la acción de un mecanismo que disminuye la lluvia, asociado a una situación sinóptica a gran escala, que es capaz de mantenerse por dos o más meses consecutivos.

Como caso típico, es común que hayan estaciones que presentan alto riesgo de ocurrencia, pero son poco vulnerables por no poseer actividades agrícolas importantes (Estación CENIAP), los recursos financieros para prevenir o mitigar la sequía podrían dirigirse hacia otra zona con menor riesgo de ocurrencia, pero más vulnerable por desarrollar sistemas de producción agrícola intensiva o por poseer ciertos recursos hídricos que obligatoriamente tienen que protegerse (Estación Banco de San Pedro). También una posible estrategia puede estar ligada a los planificadores ambientales, quienes podrían establecer el carácter prioritario del desarrollo sostenible de los pequeños productores agrícolas indígenas o

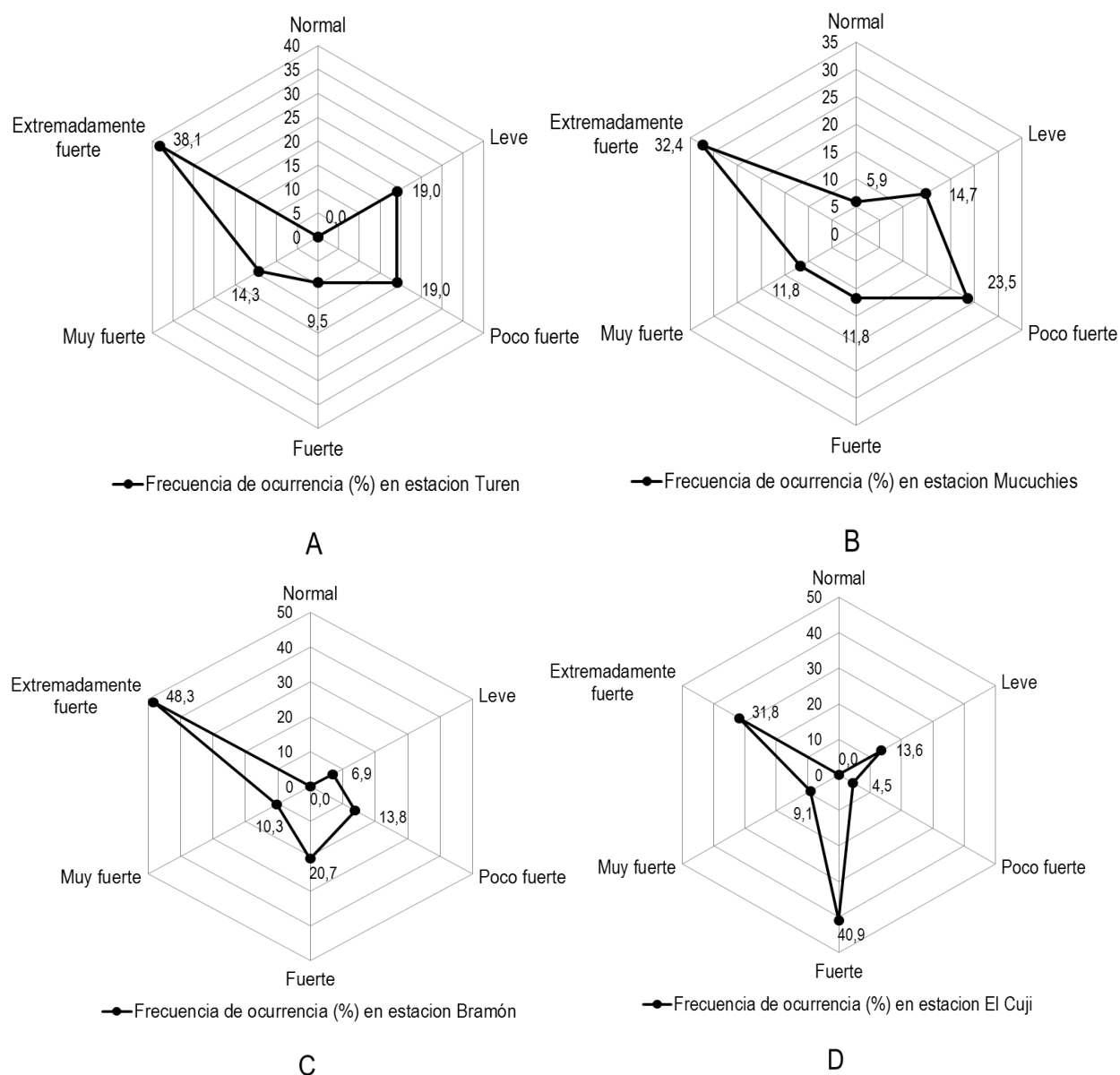
rurales (cercanos a las estaciones Tapipa-Padrón y El Tigre), en términos de seguridad agroalimentaria endógena, cuyo riesgo a sequías extremadamente fuertes es importante de considerar.



**Figura 18.** Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las clases de magnitudes (SPI mensual) en el período 1980-2014 (Grupo I).

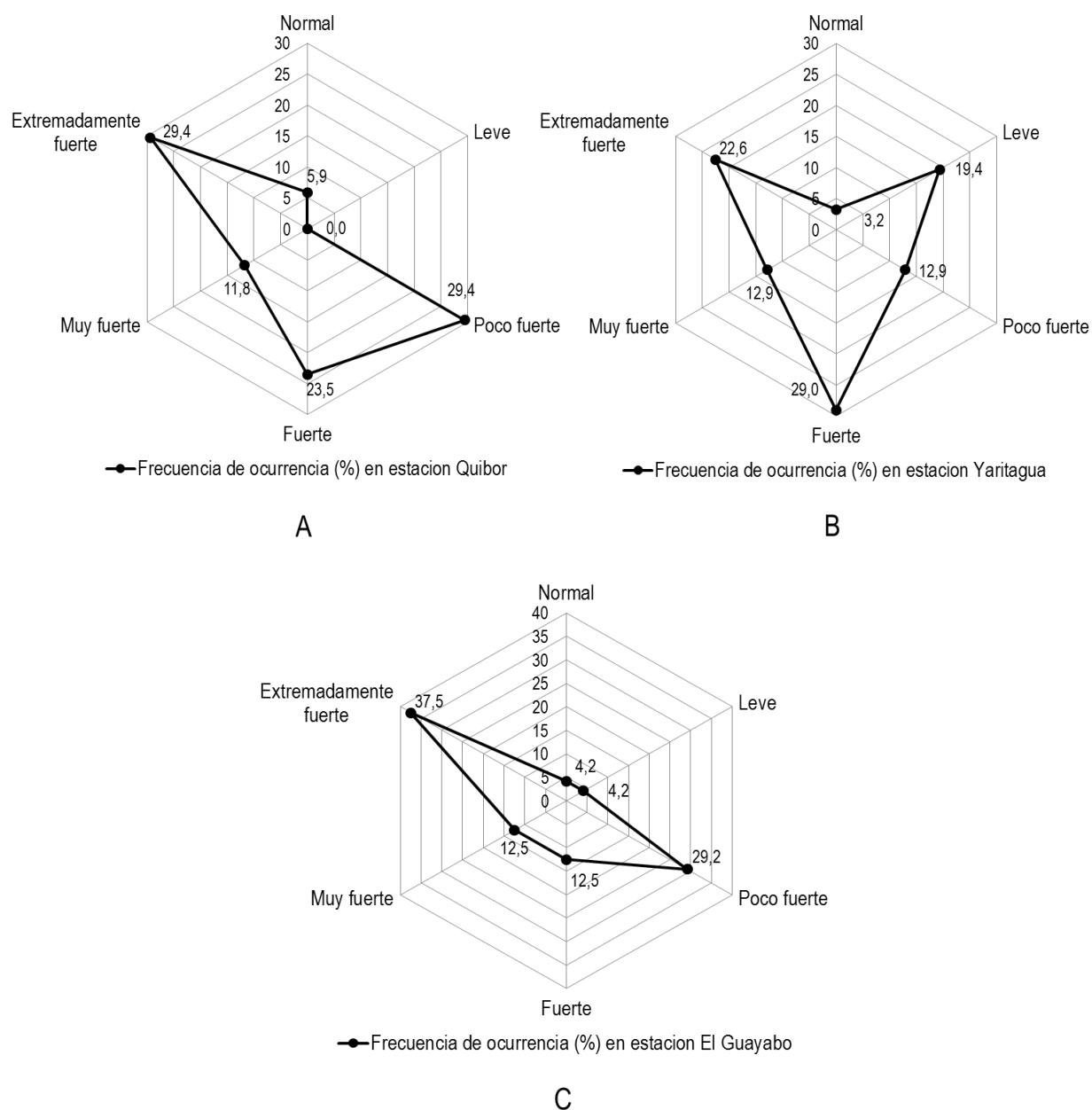
La figura 19 muestra la frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las clases de magnitudes para otras cuatro estaciones en el período 1980-2014. Particularmente, predominan las sequías fuertes en la estación El Cují (Figura 19d), seguidas de las extremadamente fuertes en las estaciones Turén (Figura 19a), la cual presentó 26 eventos

de sequías representando el 12,79% del total de SPI mensual; Bramón (Figura 19c), la cual presentó 45 eventos de sequía constituyendo el 15,86% del total de la serie y Mucuchíes (Figura 19b) con 32,40% de sequías extremadamente fuertes.



**Figura 19.** Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las clases de magnitudes (SPI mensual) en el período 1980-2014 (Grupo II).

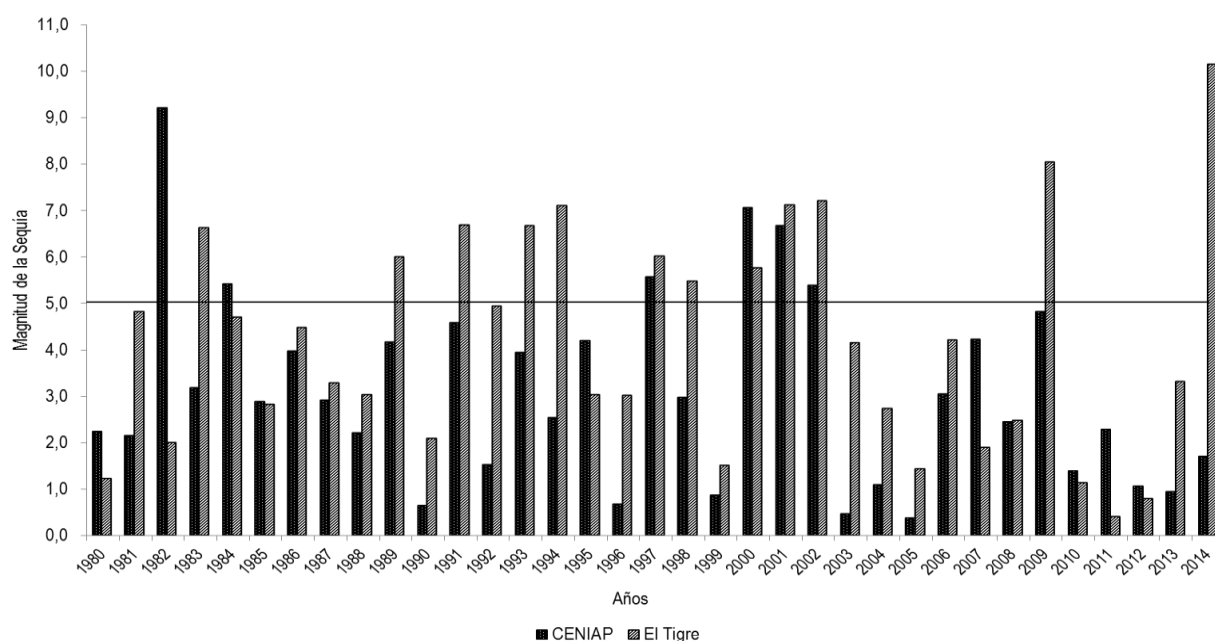
Seguidamente en este último grupo de estaciones (Figura 20), predominan las sequías poco fuertes y extremadamente fuertes en la estación Quíbor (Figura 20a), ambas categorías con el 29,40%; al igual que en la estación El Guayabo dominan los eventos extremadamente fuertes con un 37,50% (Figura 20c). Entre tanto, la estación Yaritagua presenta el predominio de los eventos de sequías fuertes con un 29,0% (Figura 20b)



**Figura 20.** Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las clases de magnitudes (SPI mensual) en el período 1980-2014 (Grupo III).

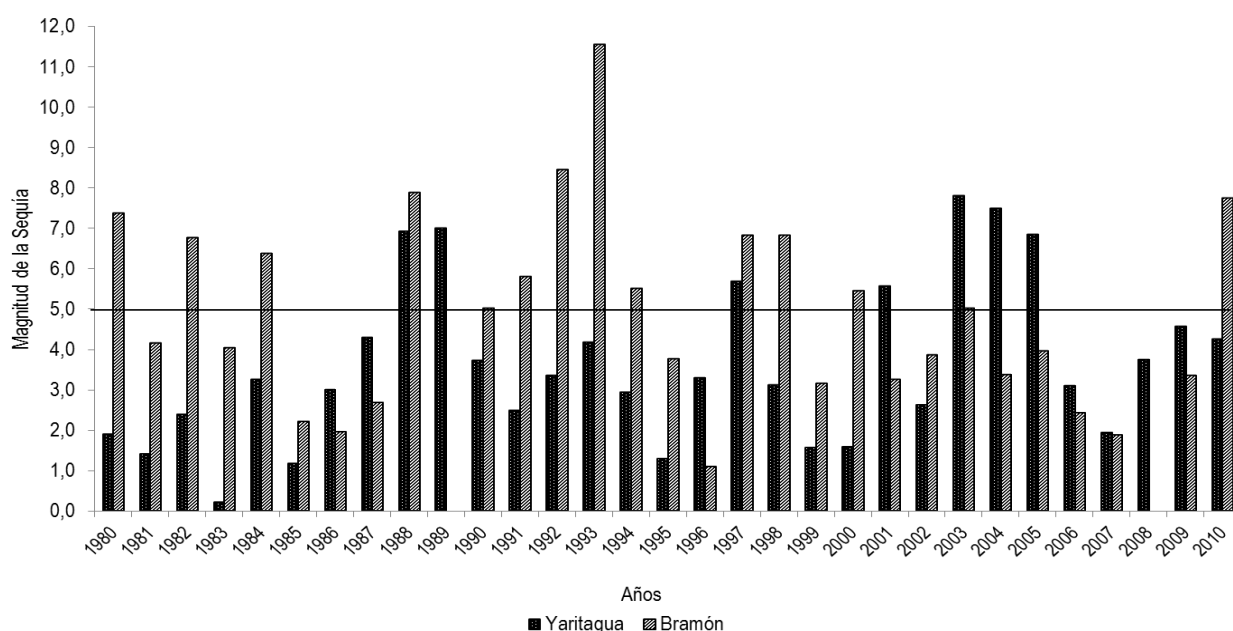
A título ilustrativo, la distribución de las magnitudes de las sequías en las estaciones CENIAP y El Tigre se representan en la figura 21, siendo la estación de El Tigre la que mayor número de magnitudes extremadamente fuertes (12 años) en comparación con la estación CENIAP cuyas magnitudes ubicadas en esta categoría están alrededor de 6 años.





**Figura 21.** Distribución de las magnitudes de las sequías durante el periodo (1980-2014) para las estaciones CENIAP y El Tigre.

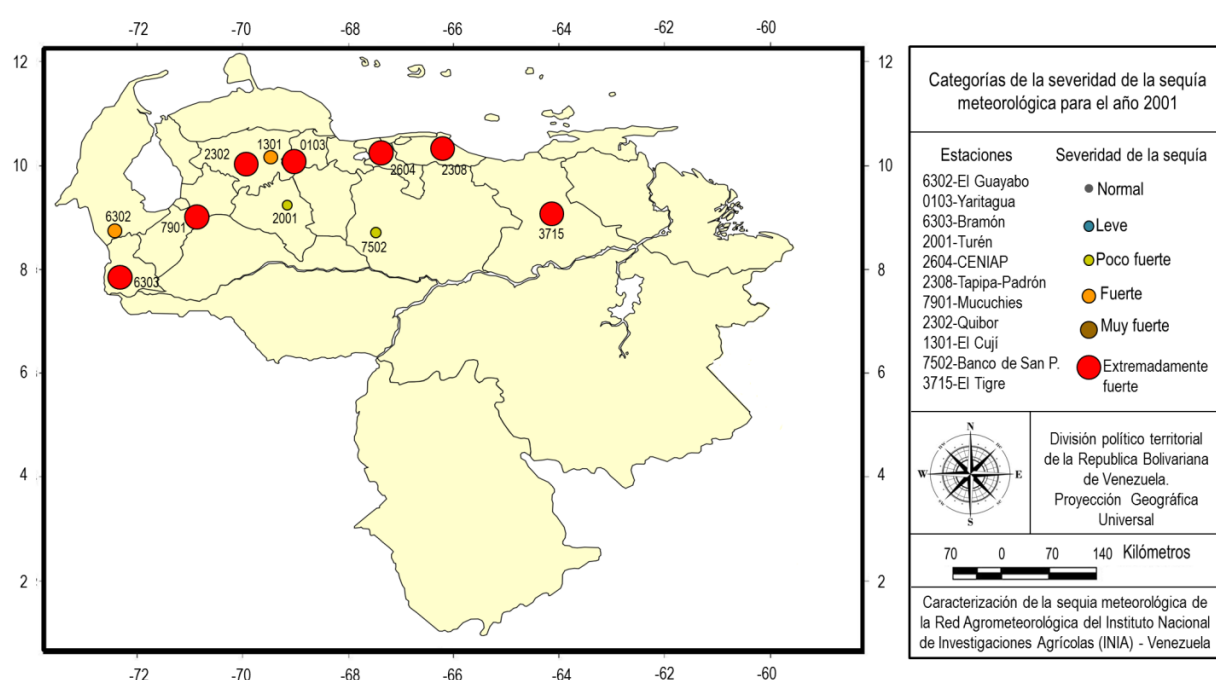
Al observar la figura 22, se establece que la estación de Bramón presenta un mayor número de sequías extremadamente fuertes (13 años) en comparación con la estación Yaritagua que presenta 7 años con magnitudes ubicadas en la categoría de extremadamente fuerte



**Figura 22.** Distribución de las magnitudes de las sequías durante el periodo (1980-2014) para las estaciones Yaritagua y Bramón.

## Categorización de la severidad de la sequía

El evento de sequía ocurrido desde inicios del periodo pre-húmedo (abril) del 2001 a inicios (febrero y marzo) de 2002, constituye uno de los más intensos que se haya conocido en la mayoría del territorio nacional a lo largo del registro histórico. La Figura 23 muestra la distribución de la severidad para las estaciones bajo estudio. La mayoría se vio afectada por la sequía, sin embargo en zonas como El Guayabo, El Cují, Turen y Banco de San Pedro la sequía no alcanzo una magnitud lo suficientemente significativa como para generar daños en la agricultura para estas zonas.

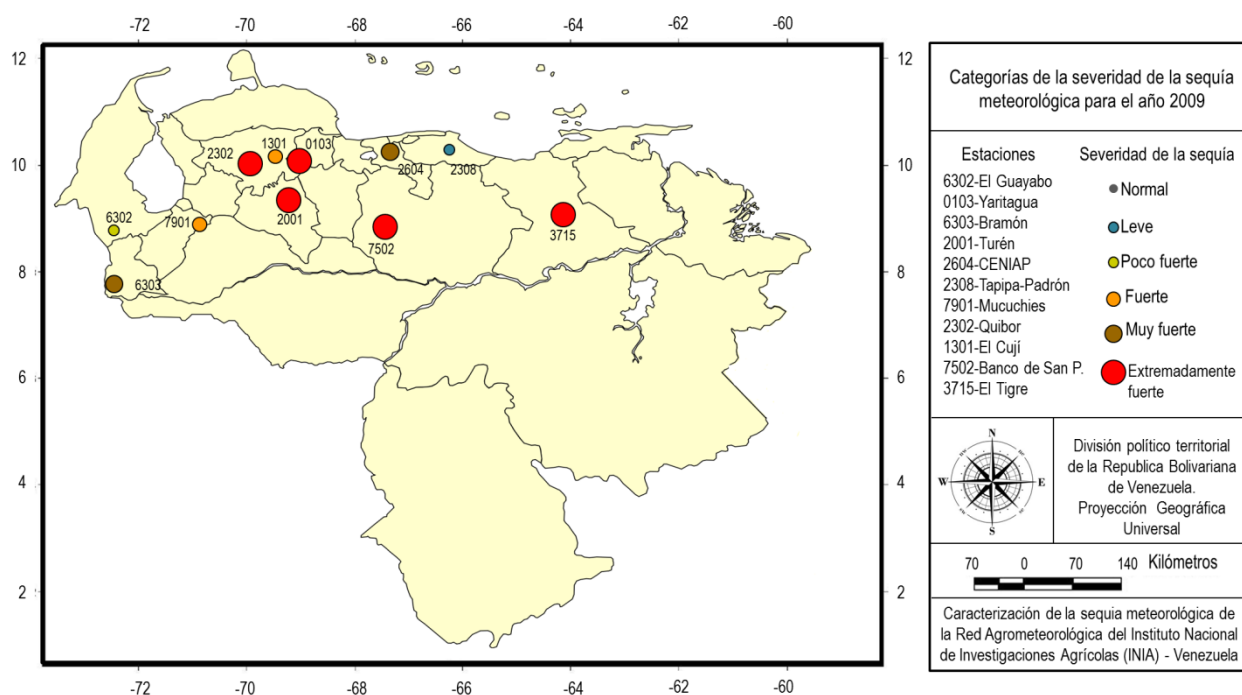


**Figura 23.** Categorías de la severidad de la sequía para el año 2001.

El intenso evento de sequía meteorológica iniciado en la época lluviosa del 2009 (Figura 24), se prolongó por unos dos meses consecutivos, generando un déficit altamente significativo en todo el país, particularmente en la región de los Llanos Centrales, Orientales y Occidentales, la cual ha soportado los impactos de continuos déficit en los acumulados mensuales desde los últimos 10 años.

En lo concerniente a este comportamiento de la sequía, el documento emitido por Centella et al. (2007) indica que existe una alta probabilidad de que los graves procesos de sequía más recientes también esté presente el componente antrópico, debido a que existen señales perceptibles de que el hombre es en parte responsable de las alteraciones observadas en el

clima en las últimas décadas. Por ello, la sequía como fenómeno propio de la variabilidad climática natural, debe ser evaluada en el contexto de la superposición de señales climáticas de baja y altas frecuencias (multidecadales, decadales, multianuales), las cuales responde a ajustes del sistema climático.



**Figura 24.** Categorías de la severidad de la sequía para el año 2009.

En el contexto de la agricultura, la sequía no comienza cuando cesa la lluvia, sino cuando las raíces de las plantas no pueden obtener humedad del suelo, aunque en este estudio no se hace un análisis exhaustivo de la sequía agrícola, se generan inferencias de lo que puede ocurrir cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas de agua del suelo y las pérdidas por evaporación se combinan para causar considerables disminuciones en el rendimiento del cultivo.

### **Duración de las magnitudes máximas de las sequías**

Los resultados anteriormente discutidos evidenciaron que en algunas estaciones bajo estudio se han presentado ciertos eventos de magnitud extremadamente fuertes; sin embargo, estos episodios han sido localizados. En el cuadro 14 se presentan las 19 magnitudes máximas de las sequías detectadas en la zona de estudio, para el primer grupo de estaciones.

En la estación CENIAP la mayor magnitud fue de 9,20, ubicándose en dos meses lluviosos del año 1982. También para el año 2001, hubo una disminución en el total anual de lluvia registrada en la zona asociada al evento de sequía durante dos meses del pre húmedo y dos meses del periodo lluvioso. Este mismo comportamiento se presentó en la estación Tapipa-Padrón para ese mismo año asociado a la sequía de magnitud 9,70 y de tres meses consecutivos de duración.

**Cuadro 14.** Duración de las magnitudes máximas detectadas en las estaciones bajo estudio (Grupo I).

Estación	Magnitud	Duración		Lluvia total anual (mm)
		Periodo	Año	
CENIAP	9,20	Jun-Jul/Nov	1982	842,3
	7,06	Abr/Jun-Jul/Oct	2000	816,2
	6,68	Abr-May/Ago-Sep	2001	723,1
Tapipa-Padrón	9,70	Ene-Mar/Jun	2001	2083,4
	9,50	Ene/Mar/Ago/Dic	2003	2178,7
	8,09	Ene/Jun	1986	2170,3
Banco de San Pedro	9,11	May-Sep	2009	706,0
El Tigre	10,15	May-Jun/Ago-Sep	2014	548,2
	8,05	May/Sep/Nov	2009	727,8
	7,22	Jul-Ago	2002	763,1
Turén	6,19	Abr/Jun-Jul	2000	1343,1
Mucuchíes	9,39	May/Ago/Oct	1992	404,6
	8,72	Mar/Oct-Nov	2008	412,1
	7,96	Mar-Abr/Jun/Ago	2001	441,3
	7,83	May-Jul/Nov	2007	521,0
	7,81	Abr-May/Ago	2000	468,0
Bramón	11,56	Feb/Abr/Jun-Jul/Sep/Dic	1993	820,0
	7,89	Ene/Abr-May	1988	1246,9
	7,75	Ago-Sep	2014	1015,2
	7,37	Oct-Dic	1980	1163,0
	6,82	Mar-May	2001	1043,2

La estación Banco de San Pedro presenta una de los eventos de sequía de mayor magnitud de todas las estaciones bajo estudio, cuya duración fue de cinco meses consecutivos durante el periodo húmedo en el año 2009. También en la estación El Tigre se presentaron dos eventos cuya magnitud en el año 2014 fue de 10,15. Ambas estaciones ubicadas en la región de los llanos donde en las condiciones de agricultura de secano, las precipitaciones

determinan la disponibilidad de agua y el tiempo en el que las plantas pueden abastecerse de ella. En el caso de la estación Mucuchíes, para el año 1992, se registró una sequía cuya magnitud generó montos de lluvia anual muy por debajo de lo esperado en esa zona.

Para este segundo grupo de estaciones (Cuadro 15) se resalta la máxima magnitud de Quíbor (11,29), la cual tuvo una duración de cinco meses consecutivos durante el 2001, generando uno de los años más secos del periodo histórico evaluado en esa localidad. Durante el periodo 2001-2002, en la cordillera central también se registró un evento de sequía prolongado que afectó a los embalses de gran importancia en esta zona del país.

**Cuadro 15.** Duración de las magnitudes máximas detectadas en las estaciones bajo estudio (Grupo II).

Estación	Magnitud	Duración		Lluvia total anual (mm)
		Periodo	Año	
El Cuji	11,18	Jun-Jul/Sep-Oct	2005	606,1
	7,50	May-Jun/Oct/Dic	2003	407,8
	7,49	Abr/Jul-Ago/Dic	2013	341,7
	7,48	Mar-Abr/Jun/Sep	2008	468,5
Quíbor	11,29	Abr-Ago/Nov	2001	177,7
	6,83	May-Jun	2009	376,4
	6,28	Abr/Ago/Oct	2000	466,3
Yaritagua	7,81	May-Jun/Sep/Nov	2007	600,6
	7,50	Jun/Ago-Sep/Dic	2008	789,0
	7,01	Abr/Jul-Ago	1989	616,7
El Guayabo	10,22	Mar-May/Ago/Oct	1991	1220,8
	8,91	Feb/Sep-Nov/Mar-Abr	1990	2071,7
	8,19	Mar-Abr/Jun/Dic	1987	1938,6

Al cierre del periodo seco noviembre de 2000–abril 2001, importantes déficit en los acumulados mensuales de la lluvia se produjeron en la mayoría de las estaciones, con amplias zonas donde los acumulados de las lluvias estuvieron por debajo de la normal. Este suceso persistió durante los meses del periodo lluvioso subsiguiente (mayo-septiembre 2001) en estas mismas zonas, ampliando su extensión en casi todo el territorio nacional.

## **Análisis de la vulnerabilidad agrícola**

El análisis que se presenta de la vulnerabilidad de los municipios de influencia de las estaciones seleccionadas dentro del espacio definido en esta investigación, es el reflejo del estado individual y colectivo de sus elementos de orden físico, social, económico, ambiental y tecnológico; los mismos que son dinámicos, cambiando en el tiempo, según su nivel de preparación, actitud, comportamiento, normas, condiciones socio-económicas y políticas de las comunidades agrícolas e instituciones gubernamentales. Para dicho análisis de la vulnerabilidad agrícola se identificaron los elementos que se encuentran expuestos, empleando los índices compuestos que permiten la construcción de un sistema de indicadores consistentes para los municipios señalados a continuación.

### **Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra (FT)**

Este índice establece que tenencias bajo cinco hectáreas son consideradas como pequeños productores, y por lo tanto, muy vulnerables. Para el rango entre 10 y 200 hectáreas se producen las mayores diferencias entre un tramo y otro, a medida que aumenta el tamaño de la propiedad de la tierra. Desde 200 hectáreas en adelante, baja considerablemente la vulnerabilidad y los distintos valores presentan menos variación.

El tamaño de la propiedad permitió una primera aproximación al estudio de la sensibilidad de los sistemas agrícolas de los municipios abordados, en tanto las explotaciones de pequeña superficie pueden ser vinculadas a pequeños productores es decir, aquellos que disponen de menos recursos de capital, tecnológicos y de gestión. Estos productores adoptarían posiciones y roles más desventajoso en términos de relaciones de poder.

Pero el tamaño de la unidad económica varía no solo según la actividad agrícola que se desarrolla, sino que además está en función de diversos factores al interior de una misma actividad, incluyendo su localización territorial dentro del estado geográfico, y más aún, las innovaciones tecnológica y los cambios profundos ocurridos en los sistemas productivos en el marco de las cadenas agroalimentarias de la nación, que han relativizado la validez de este índice como determinante en la categorización social de los productores

En primera instancia, lo que se observó fue que los municipios Girardot (43,0%), Junín (15,0%), Iribarren (14,0%), Jiménez (14,5%) y Acevedo (7,0%), cuya ubicación se presenta en el cuadro 17, se caracterizan por poseer una elevada proporción de explotaciones pequeñas. Los tamaños están asociados al tipo de cultivo predominante, lo que explica la mayor presencia de explotaciones pequeñas en los municipios de los andes y

occidente del país, debido a su fuerte perfil hortícola; por el contrario la existencia de explotaciones con más de 500 hectáreas, se asocia principalmente a la cría del ganado con importantes extensiones de pastos y forrajes como es el caso de los municipios Catatumbo (64,0%), Acevedo (59,0%) y Turén (54,0%).

El cuadro 16 refleja la Superficie municipal ocupada por el estrato de tenencia (STn) de acuerdo al índice de tenencia (Kn), tomando los criterios establecidos en la figura 5. A grandes rasgos las estaciones ubicadas en los municipios con mayores proporciones de unidades de producción inferiores a cinco hectáreas estarán más vulnerables ante los eventos de sequía. También las proporciones de grandes tenencias de la tierra en algunos municipios nombrados anteriormente evidencian un menor grado de vulnerabilidad ante los fenómenos climáticos, es por ello que estas estaciones presentan una gama amplia de rangos, en función al tamaño de las unidades de producción. Es de notar que el municipio Francisco de Miranda posee una significativa superficie, constituyendo uno de los más grandes del país seguido del municipio Catatumbo (Estación El Guayabo) concentrando la mayor proporción de superficie en estratos superiores a las cien hectáreas.

El cuadro 17 muestra el índice de fragmentación de tenencia de la tierra, un análisis general de todas las estaciones establece que no hubo diferencias marcadas entre municipios, sin embargo cual se destaca el bajo valor del municipio Rangel asociado a la mayor concentración de superficie en estratos inferiores a quinientas hectáreas y por el contrario, los municipios Francisco de Miranda y Turen constituyen valores del índice superiores al resto, los cuales están en función de la mayor concentración en superficies menores a diez hectáreas, aunado a la amplia superficie de los municipios, tal como se mencionó anteriormente.

**Cuadro 16.** Producto ( $Kn * STn$ ) del Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra (FT) para las estaciones bajo estudio

Estrato/Municipio	Estaciones bajo estudio											
	CENIAP	Tapipa - Padrón	Banco de San Pedro	El Tigre		Turén	Mucuchíes	Bramón	El Cují	Quíbor	Yaritagua	El Guayabo
	Girardot	Acevedo	Francisco de Miranda	Simón Rodríguez	San José de Guanipa	Turén	Rangel	Junín	Iribarren	Jiménez	Peña	Catatumbo
Menos de 0,5 ha.	373,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
De 0,5 a 1 ha.	231,4	0,0	7.477,4	0,0	0,0	0,0	241,4	0,0	661,5	216,6	0,0	0,0
De 1 a 2 ha.	666,1	1.087,8	7.175,3	2.263,0	4.443,7	0,0	347,5	155,2	2.539,0	831,4	327,1	0,0
De 2 a 5 ha.	631,0	6.183,0	20.393,0	2.143,9	4.209,9	2.228,1	1.097,3	294,1	5.412,0	1.772,2	929,8	1.656,4
De 5 a 10 ha.	822,7	6.412,0	90.635,4	2.541,0	4.989,5	2.970,9	682,8	392,2	4.276,1	1.400,3	1.652,9	1.472,4
De 10 a 20 ha.	883,4	4.809,0	100.454,3	2.779,2	5.457,2	5.199,0	1.194,8	686,3	2.338,5	765,8	1.687,4	2.576,6
De 20 a 50 ha.	224,4	6.870,0	77.040,1	857,6	1.683,9	8.169,9	1.463,1	1.568,7	3.608,0	1.181,5	2.272,8	6.625,6
De 50 a 100 ha.	0,0	4.007,5	75.529,5	397,0	779,6	6.808,2	1.036,3	1.225,5	5.011,1	1.641,0	2.238,4	7.361,8
De 100 a 200 ha.	0,0	1.832,0	39.275,4	508,2	997,9	6.436,9	634,0	1.045,8	3.741,6	1.225,3	1.652,9	13.251,3
De 200 a 500 ha.	0,0	2.404,5	22.658,9	95,3	187,1	7.055,8	512,1	882,4	4.209,3	1.378,4	1.962,9	14.355,5
De 500 a 1.000 ha.	0,0	1.145,0	1.510,6	31,8	62,4	2.970,9	0,0	359,5	1.336,3	437,6	826,5	6.625,6
De 1.000 a 2.500 ha.	0,0	4.465,5	0,0	0,0	0,0	1.856,8	0,0	65,4	267,3	87,5	447,7	2.760,7
De 2.500 a 5.000 ha.	0,0	343,5	0,0	0,0	0,0	309,5	0,0	24,5	0,0	0,0	51,7	460,1
5.000 y más ha.	0,0	22,9	0,0	0,0	0,0	37,1	0,0	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0

*Kn*: índice de tenencia de la tierra

*STn*: Superficie municipal ocupada por el estrato de tenencia



Justamente, estos resultados constituyen el acceso que tiene la población de estos centros poblados a los activos económicos como la tierra, infraestructura y servicios vinculados a esa unidad de tierra, que se refleja en la capacidad para hacer frente a la sequía, más allá de las implicaciones de la cantidad de ingresos que se pudieran generar por el tamaño de una unidad de producción, se refiere al problema de la dependencia económica nacional, la ausencia de financiamiento agrícola adecuado y la falta de diversificación de la base económica de algunos municipios, donde los más perjudicados e inmersos en esta realidad están representados por los pequeños y medianos productores.

**Cuadro 17.** Superficie total municipal (ha) y el Índice de Fragmentación de Tenencia de la Tierra (FT) para las estaciones bajo estudio

Estación	Estado	Municipio	Superficie total municipal (ha)	FT
CENIAP	Aragua	Girardot	30.200	0,13
Tapipa - Padrón	Miranda	Acevedo	187.900	0,21
Banco de San Pedro	Guárico	Francisco de Miranda	1.349.000	0,33
El Tigre	Anzoátegui	Simón Rodríguez	70.300	0,17
		San José de Guanipa	79.200	0,29
Turen	Portuguesa	Turén	132.400	0,33
Mucuchíes	Mérida	Rangel	72.100	0,10
Bramón	Táchira	Junín	32.600	0,21
El Cují	Lara	Iribarren	276.300	0,12
Quíbor		Jiménez	87.900	0,12
Yaritagua	Yaracuy	Peña	51.000	0,28
El Guayabo	Zulia	Catatumbo	525.500	0,11

### Índice del balance riego/secano (IRS)

Si en el ámbito agrario, la tierra representa el medio de producción más importante que estructura y organiza las relaciones de producción, en una zona de agrícola que depende del agua para el adecuado crecimiento del cultivo, la disponibilidad de agua de riego constituye un factor igualmente sustancial que se vuelve crítico en términos de sustentabilidad respecto a los escenarios climáticos definidos por la sequía en territorios tropicales.

Existen unidades de producción agrícola que utilizan el riego para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos adaptados al clima de ese lugar (municipios Francisco de Miranda y Turén), también se presentan casos de unidades de producción en las que las deficiencias de riego superficial son salvadas mediante el bombeo de agua subterránea (municipios Simón Rodríguez y San José de Guanipa). En este aspecto, la gran mayoría de la superficie regada en las explotaciones agrícolas solo cuenta con abastecimiento de agua por parte de algún sistema de distribución superficial, por lo tanto, los productores que posean terrenos con pozos que permitan el acceso al agua subterránea parecieran estar protegidos frente a escenarios de escasez de agua superficial.

El cuadro 18 presenta el índice del balance riego/secano para las estaciones bajo estudio, las cuales no mostraron diferencias marcadas, debido a que la mayoría de las tierras cultivables en Venezuela están bajo la condición de secano y, por lo tanto, son más vulnerables a las variaciones del clima. Así, todos estos municipios en donde se presenta esa condición en forma predominante son más inestable frente a la sequía, especialmente relacionada con cambios en la cantidad y distribución temporal del régimen de precipitaciones; aun y cuando hay estaciones como Turén y Banco de San Pedro que presentan una proporción considerable de superficie bajo riego lo que las hace menos vulnerable.

El índice hace hincapié en el grado de resistencia del medio natural y de los seres vivos que conforman un determinado ecosistema, ante la presencia de la variabilidad climática protagonizada por la sequía; en consecuencia este riesgo se convierte en desastre cuando una comunidad agrícola no puede abastecerse del líquido que requiere para su consumo, para realizar las labores en campo, o bien para el desarrollo y crecimiento adecuado de los cultivos, tal es el caso de todas las estaciones bajo estudio.

Queda claro que, el acceso al agua es un factor sumamente determinante en la sostenibilidad de las unidades de producción agrícola, es por ello que se precisa la reflexión sobre la disponibilidad del recurso hídrico en el contexto de otros factores que la afectan. Se conoce que no todos los productores agrícolas en los Llanos y Andes venezolanos cultivan el total de la superficie apta para la agricultura, debido a la falta de agua principalmente, aparte de la insuficiencia de recursos económicos para asumir inversiones; situación explicable en un contexto de diversos pequeños

productores cuyo perfil no les permite ser económicamente sustentables en el marco de los nuevos sistemas agroalimentarios del país.

**Cuadro 18.** Superficie total cultivada (ha), Superficie de secano (ha) y el Índice del balance riego/secano (IRS) para las estaciones bajo estudio

Estación	Estado	Municipio	Superficie cultivada (ha)	Superficie de Secano (ha)	IRS
CENIAP	Aragua	Girardot	4.674,31	4.585,41	0,98
Tapipa - Padrón	Miranda	Acevedo	114.500,34	114.139,91	0,99
Banco de San Pedro	Guárico	Francisco de Miranda	755.295,32	679.135,69	0,89
El Tigre	Anzoátegui	Simón Rodríguez	15.881,01	14.501,55	0,91
		San José de Guanipa	31.184,17	30.722,17	0,98
Turen	Portuguesa	Turén	123.786,08	96.853,50	0,78
Mucuchíes	Mérida	Rangel	12.192,30	9.859,09	0,81
Bramón	Táchira	Junín	16.340,51	15.950,65	0,97
El Cují	Lara	Iribarren	66.814,82	63.241,16	0,94
Quíbor		Jiménez	21.879,53	18.213,30	0,83
Yaritagua	Yaracuy	Peña	34.436,19	32.001,28	0,92
El Guayabo	Zulia	Catatumbo	184.045,31	183.305,81	0,99

Desde el punto de vista de la sensibilidad a las sequías, el sector de la agricultura es muy consumidor y poco habituado a racionalizar su uso. Pero ante esta característica, podría reseñarse que la reconversión hacia sistemas de riego más eficientes y la capacitación en el manejo del recurso hídrico, le permitiría a la agricultura desarrollada en varios municipios abordados, crecer de una manera significativa sobre la base del mismo consumo de agua actual.

### Índice de Ruralidad (IRU)

El índice de ruralidad se presenta en el cuadro 19. De esta forma se considera a un municipio más sensible o vulnerable a la sequía a aquel en donde la población no se desarrolla en centros urbanos, sino más bien en un ámbito rural asociable al sector agropecuario. Se destacan los bajos valores de los municipios Girardot, Simón Rodríguez, San José de Guanipa e Iribarren por la poca población que habita en entornos rurales. Los mayores valores del índice se reportaron en los municipios Catatumbo, Acevedo y Turén, lo que se interpreta como centros poblados más

vulnerables a la sequía, esto estaría asociado a la marginación económica y a las pobres condiciones de empleo, salud, educación, beneficios económicos los cuales constituyen componentes importantes de una vulnerabilidad social aguda en estas zonas.

**Cuadro 19.** Población total, rural y el Índice de Ruralidad (IRU) para las estaciones bajo estudio

Estación	Estado	Municipio	Población total	Población rural	IRU
CENIAP	Aragua	Girardot	407.109	172	0,001
Tapipa - Padrón	Miranda	Acevedo	87.371	28.352	0,32
Banco de San Pedro	Guárico	Francisco de Miranda	141.987	15.127	0,11
El Tigre	Anzoátegui	Simón Rodríguez	147.800	2.057	0,01
		San José de Guanipa	64.016	734	0,01
Turen	Portuguesa	Turén	62.947	19.188	0,30
Mucuchíes	Mérida	Rangel	19.008	5.444	0,29
Bramón	Táchira	Junín	80.680	9.009	0,11
El Cují	Lara	Iribarren	996.230	37.482	0,04
Quíbor		Jiménez	100.997	24.547	0,24
Yaritagua	Yaracuy	Peña	101.620	14.043	0,14
El Guayabo	Zulia	Catatumbo	40.702	15.894	0,39

Es de notar, que a partir de los valores reportados se analiza el nivel de organización y participación que tiene la colectividad de los municipios, para prevenir y responder ante situaciones de emergencia. Mayormente, la población organizada (formal e informalmente) puede superar más fácilmente las consecuencias de un desastre (municipios Girardot, Francisco de Miranda, Simón Rodríguez, San José de Guanipa, Iribarren y Peña), en comparación con las comunidades que no están organizadas, tal es el caso del resto de los municipios con proporciones de población rural importantes, por lo tanto, la capacidad para prevenir y dar respuesta ante una situación de emergencia asociadas a la sequía es mucho más efectivo y rápido.

### **Índice de Intensidad de la Agricultura (IT)**

La mayor o menor capacidad tecnológica de los productores agrícolas puede considerarse como un factor protector frente a los riesgos asociados a la sequía. La presencia de tecnologías agrícolas o el uso de capital importante en las unidades de producción agrícola quizás no está vinculada directamente a la protección frente a las consecuencias de la sequía, pero informa sobre

los niveles de capitalización y sobre modalidades productivas más o menos sensibles a los escenarios de la sequía.

Por su parte, las condiciones tecnológicas de producción fueron aproximadas a través de este índice de intensidad de la agricultura, esto bajo el supuesto de que un productor dispuesto y en condiciones de renovar o incorporar tecnología es menos vulnerable ante los cambios en los factores del clima y especialmente ante la falta de agua por una sequía meteorológica que pudieran afectar su explotación.

Bajo el supuesto antes mencionado, interesa estimar la disponibilidad económica mediante el uso de capital y tecnología que pudiera ser destinada a las inversiones para disminuir la vulnerabilidad a la sequía. Este índice considera para cada rubro el capital necesario para el desarrollo de esta actividad. En el cuadro 20 se presenta la fracción de superficie ocupada respecto al nivel de insumos y tecnologías utilizados por cada rubro productivo.

Nuevamente esto se relaciona con el tipo de cultivo predominante en las unidades de producción dedicadas esencialmente a caña de azúcar, tabaco, algunas hortalizas y las flores, desarrolladas en ciertos municipios de los Andes y Llanos venezolanos, que cuentan con el capital para realizar las labores de manejo de cultivo. Por el contrario, los cultivos de leguminosas, textiles, raíces y tubérculos en ocasiones no justifican la inversión y las labores en ciertos casos son manuales, lo que impacta en el mayor número de personas ocupadas para dichas tareas.

El cuadro 21 muestra grado de intensificación que presenta la agricultura en los municipios, tomando en cuenta el tipo de agricultura que presenta y su superficie. A manera global, todas las estaciones presentaron valores del índice asociados a la baja vulnerabilidad ante la sequía, a excepción de la estación de Turén, debido a la amplia proporción de superficies cultivables de cereales, textiles y oleaginosas, y pastos y forrajes, presentando mayor vulnerabilidad a la sequía.

**Cuadro 20.** Fracción de superficie ocupada por cada rubro (*Sn*) respecto al Factor de Uso de Capital y Tecnología (UCT) para las estaciones bajo estudio

Estación	Municipio	Rubros									
		Cereales	CT (I)	CT (II)	Frutales	Hortalizas	Leguminosas	Pastos y forrajes	Raíces y Tubérculos	Textiles y Oleaginosas	Flores
CENIAP	Girardot	0,64	44,62	41,65	329,74	1,66	5,60	102,13	43,24	0,00	4,03
Tapipa - Padrón	Acevedo	123,65	3.707,36	83,20	2.854,75	89,35	5,38	14.212,73	777,78	4,83	0,48
B. de San Pedro	F. de Miranda	51.356,91	0,00	7,00	576,14	69,72	271,10	60.125,46	20,70	0,00	0,00
El Tigre	S. Rodríguez	62,81	0,00	0,00	49,59	18,68	2,24	1.391,56	28,06	0,28	0,00
	S. J. de Guanipa	23,85	0,00	0,00	80,33	5,81	29,12	2.496,16	187,68	0,00	0,00
Turen	Turén	82.065,18	0,00	4.364,51	274,24	46,63	1.392,31	3.523,20	100,26	8.792,31	0,00
Mucuchíes	Rangel	19,61	0,33	0,00	5,36	806,63	2,66	191,97	769,96	0,00	4,50
Bramón	Junín	26,77	1.055,65	35,53	359,68	72,08	17,12	1.372,59	27,17	0,00	1,66
El Cují	Iribarren	1.008,71	1.273,86	48,30	3.171,88	2.106,67	631,27	2.702,67	90,94	369,51	5,63
Quíbor	Jiménez	215,66	88,14	0,00	85,55	1.879,18	132,78	281,58	103,25	0,00	0,00
Yaritagua	Peña	6.290,57	35,61	1.569,21	387,28	211,63	176,91	1.485,97	21,74	2,88	0,00
El Guayabo	Catatumbo	32,07	1,65	315,35	177,98	46,07	0,00	28.364,37	11,41	510,16	0,00

CT (I): Cultivos Tropicales I (Café y Cacao)

CT (II): Cultivos Tropicales II (Caña de Azúcar y Tabaco)

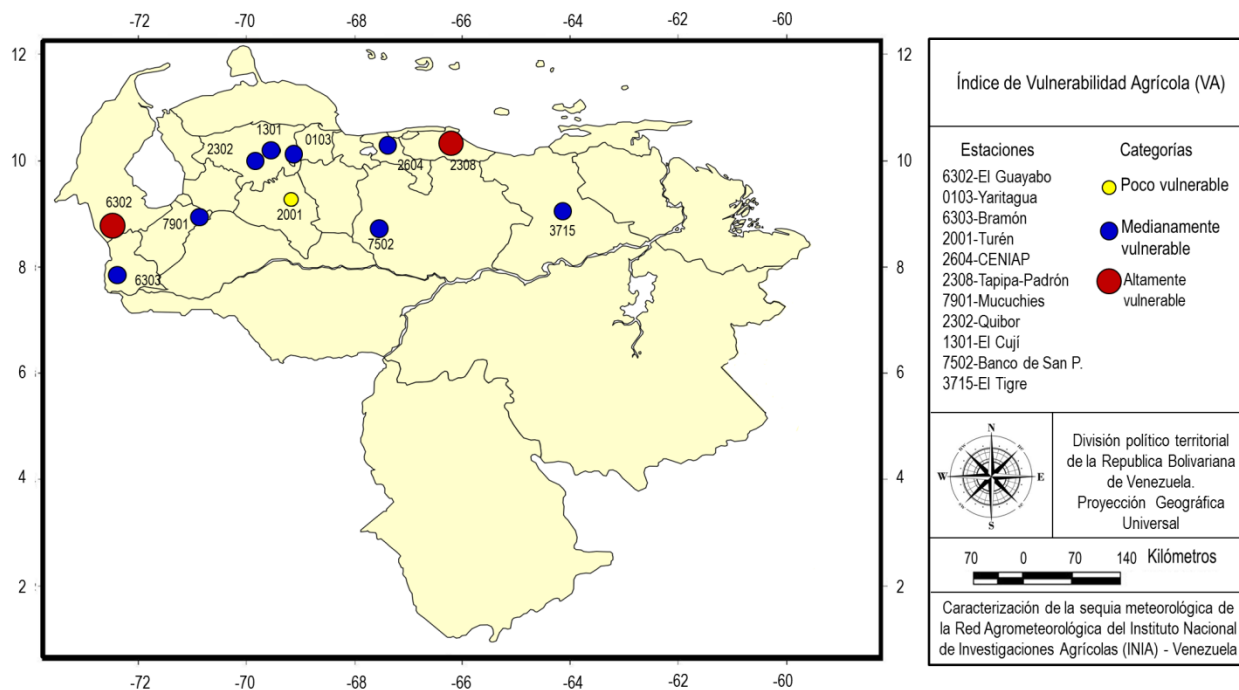
**Cuadro 21.** Índice de Intensidad de la Agricultura (IT) para las estaciones bajo estudio

Estación	Estado	Municipio	IT
CENIAP	Aragua	Girardot	0,12
Tapipa - Padrón	Miranda	Acevedo	0,19
Banco de San Pedro	Guárico	Francisco de Miranda	0,15
El Tigre	Anzoátegui	Simón Rodríguez	0,10
		San José de Guanipa	0,09
Turen	Portuguesa	Turén	0,81
Mucuchíes	Mérida	Rangel	0,15
Bramón	Táchira	Junín	0,18
El Cují	Lara	Iribarren	0,17
Quíbor		Jiménez	0,13
Yaritagua	Yaracuy	Peña	0,30
El Guayabo	Zulia	Catatumbo	0,16

### **Índice de vulnerabilidad agrícola**

En resumen, los índices descritos hacen presumir que el municipio Turén mediante la agricultura que allí se desarrolla, estaría mejor preparado frente a las consecuencias de la sequía meteorológica; esto estaría vinculado con la presencia de una agricultura capitalizada, integrada y en ciertos casos innovadora en el mercado nacional de los Llanos Occidentales. Se evidencia también, la persistencia del modelo tradicional en los municipios Acevedo y Catatumbo los cuales poseen alta vulnerabilidad a la sequía; con situación intermedia en este gradiente a las unidades de producción en el resto de los municipios los cuales poseen una mediana vulnerabilidad (Figura 25).

En pocas palabras, aparentemente buena parte de la vulnerabilidad de este sector agrícola frente a los cambios generados por la sequía en cuanto a la disminución de agua de lluvia, la intensidad y la distribución espacial/temporal estaría vinculada a la estructura social y a las estrategias productivas propias de un sector que en general no se encuentra muy integrado a las dinámicas recientes de los sistemas agroalimentarios.



**Figura 25.** Representación gráfica del índice de vulnerabilidad agrícola

### Algunos planteamientos para la mitigación de la sequía

Los principales problemas de desertificación en la región de los Andes están asociados a la degradación acelerada de los suelos, debido a la erosión hídrica y eólica, contaminación de los suelos, alteración del régimen hídrico, poco desarrollo de prácticas conservacionista y la importante degradación del paisaje en ciertas áreas del municipio Rangel. La importante cantidad de población rural que vive en condición de pobreza en estas zonas, cuyas características de escasas e intensidad de lluvias, altas pendientes, irregularidad en el relieve y la variabilidad climática hacen que las actividades antrópicas de subsistencia se vean afectadas.

Ante este panorama, el MARN (2004) plantea la necesidad de prevenir y combatir la desertificación, siendo prioritario emprender acciones de forma multidisciplinaria e interinstitucional, teniendo como protagonista más importante a la comunidad y donde se incorpore el elemento del género como agente principal en esta lucha contra la desertificación y por la mitigación de la sequía.

La región de los Llanos se caracteriza por presentar problemas de sequía vinculados con los procesos de erosión que provocan la degradación de las tierras, ocasionadas por la deforestación



y el establecimiento de cultivos limpios y pastoreo en áreas de pendientes complejas con lluvias intensas y concentradas en cortos períodos de tiempo, sin la aplicación de prácticas de conservación de suelos; entre los planteamientos para enfrentar el problema de la desertificación están el diseño de planes de manejo y conservación de suelos para el uso agrícola en áreas sensibles o críticas, con obligatoriedad para las instituciones que promueven las actividades agrícolas y la participación activa de los productores y de las instituciones de investigación y capacitación.

Entre las causas que se atribuyen al origen del problema de desertificación en el Sistema Coriano destacan la pobreza, la falta de educación ambiental, la poca presencia de organismos oficiales, la escasa o deficiente política para el desarrollo de estas áreas, la sobreexplotación de los acuíferos, la aridez y baja fertilidad de los suelos, las pocas alternativas de subsistencia y la carencia o difícil acceso a créditos para su desarrollo; además de los procesos naturales de erosión, las escasas pero intensivas precipitaciones y la escasa cobertura vegetal, que propician un ambiente frágil y altamente susceptible a la degradación de los recursos biofísicos (MARN, 2004).

Para esta región se requiere de compromisos entre los organismos públicos y privados con la comunidad, para lograr implementar medidas e incentivos que mitiguen o frenen los daños ecológicos, en alternancia con el aprovechamiento sostenido, organizado y capacitado sobre actividades que potencien al sector en el aspecto agrícola, pecuario, turístico y manufacturero, en beneficio de sus habitantes y de ese modo mejorar su calidad de vida.

Por último, el Programa de Acción Nacional (MARN, 2004) difunde que en la región del Lago de Maracaibo, el tema de la sequía y de la desertificación no ha sido mayormente divulgado, ni se ha concretado un compromiso a nivel político y con la comunidad para hacerlas conscientes de la degradación de los recursos naturales en las zonas secas y sus efectos en la pobreza. Allí, se requiere en primer lugar emprender campañas de concienciación, vinculación y realización de proyectos, con todas las instituciones, organismos, comunidades y ONG's, que puedan tener relación o acciones para enfrentar el problema. Posteriormente a esta etapa se podría hablar de formas o propuestas concretas para enfrentar los problemas de la desertificación.

## CONCLUSIONES

En Venezuela, el tema relacionado con la sequía es poco abordado y estudiado, es justamente por esto que, esta investigación se enfocó en aportar la base del conocimiento en relación con la ocurrencia de este fenómeno en diferentes zonas de importancia agrícola del territorio nacional, incorporando nociones actuales y aplicando un método de uso universal representado por el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) contribuyendo con las ciencias: geografía, meteorología, agronomía, sociología y la tecnología ambiental, el cual puede ser aplicable a cualquier región del país, además este índice tiene la particularidad de ser sencillo y práctico, por el uso de bases de datos de lluvia de al menos 30 años continuos.

El estudio de la sequía desarrollado en este trabajo de investigación, constituye la columna vertebral para la planificación del espacio debido esencialmente a que la generación de este tipo de datos aquí reportados, sirve para que los organismos pertinentes consideren ciertas medidas preventivas y mitigantes. De acuerdo a los valores de SPI reportados en las regiones bajo estudios existe el fenómeno de la sequía meteorológica, mostrando variaciones espaciales y temporales en la intensidad, magnitud, duración y frecuencia de ocurrencia.

En el plano metodológico cabe destacar que la complejidad de la situación estudiada dio lugar a nutridas discusiones interdisciplinarias entre los integrantes del grupo de investigación que permitió desarrollar la iniciativa de sistematizar el cálculo del índice a la luz de los hallazgos obtenidos de primera mano en esta investigación.

El análisis previo permitió estimar la vulnerabilidad agrícola a la sequía, diferenciadas entre los distintos sistemas de producción agrícola estudiados y al interior de cada uno de ellos. Las vulnerabilidades obtenidas parecen categorizarse mayormente en el rango de medianamente vulnerables, esto según la naturaleza de la actividad productiva, la localización del municipio y de la tipología tecnológica del sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ablan, M., Andressen, R., Vargas, M. P., y Acevedo, M. (2008). Propuesta metodológica para el control de calidad de datos de precipitación. *Agronomía Trop*, 58 (1), 57-60. Recuperado de: [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/at5801/pdf/ablan\\_m.pdf](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at5801/pdf/ablan_m.pdf)
- Arc View Gis. (1996). The Geographic Information System for Everyone. Versión 3.2. by ESRI. Product ID: 825921104087.
- Arnell, N. W. (2003). Relative effects of multi-decadal climate variability and changes in the mean and variability of climate due to global warming: future streamflows in Britain. *Journal of Hydrology*, 270 (3-4), 195-213.
- Azkue, M de., Cortez, A., Oliveros, I. (2004). Conozca la Red de estaciones agroclimáticas del INIA, Venezuela. *CENIAP HOY*, (4) enero-abril. 1- 4. Recuperado de: [www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n4/texto/mazkue.htm](http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n4/texto/mazkue.htm)
- Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. Editorial Trillas. México, D. F. 320p.
- Cárdenas, P., García, L. F., y Gil, A. (2002). Impacto de los eventos El Niño – Oscilación del Sur en Venezuela. Caracas: Corporación Andina de Fomento. Recuperado de: [http://www.inameh.gob.ve/documentos/Impacto\\_ENOS\\_Partel.pdf](http://www.inameh.gob.ve/documentos/Impacto_ENOS_Partel.pdf)
- Centella, A., Lapinel, B., Solano, O., Vásquez, R., Fonseca, C., Cutié, V., Baéz, R., González, S., Sille, J., Rosario, P., y Duarte, L. (2007). *La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana*. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas. 172p.
- Colotti, E., Cedeño, M., y Montañez, C. (2013). La sequía meteorológica y la variación de la superficie agrícola en la Isla de Margarita, estado Nueva Esparta, Venezuela período 1972-2004. *Terra Nueva Etapa*, XXIX (45), 11-53. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/721/72130180002.pdf>
- Comerma, J., y Paredes, R. (1978). Principales limitaciones y potencial agrícola de las tierras en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 28 (2), 71-85.
- Consejo Venezolano de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. CONICIT. (1998). El fenómeno El Niño y su posible influencia sobre el territorio de Venezuela. Caracas: CNMeH. 25p.
- Convención de Lucha contra la Desertificación. CLD. (1994). *Unites Nations Convention to Combat Desertification. In those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa*. Interim Secretariat for the Convention to Combat Desertification. Geneve Executive Center, Geneve.

- Crawley, M. (2002). *Statistical Computing: An Introduction to Data Analysis using S-plus*. England: John Wiley & Sons. 772p.
- Edwards, D. C., McKee, T.B. (1997). Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time scales. *Atmospheric Science Paper No. 634. Climatology Report* (97-2), USA: Colorado State University, Fort. Collins.
- FAO. (2003). *Manejo del riesgo en el uso del agua en la agricultura*. En: Descubrir el Potencial del Agua para la Agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Departamento de Desarrollo Sostenible. Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4525S/y4525s07.htm>.
- FAO. (2011). Metodología para el desarrollo cartográfico para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo agroclimático. Santiago, Chile: Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y Gestión del Riesgo Agroclimático (UNEA).
- García, L. F., y Perdomo, E. (1998). *Situaciones Meteorológicas en Venezuela, con especial énfasis en la Región Guayana*. Caracas: CVG-EDELCA. 34p.
- Griffis, V. W., Stedinger, J.R., y Cohn, T.A. (2004). LP3 quantile estimators with regional skew information and low outlier adjustments. *Water Resources Research*, 40 (10), 145-156.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. (2013). *Cambio climático 2013: bases físicas. Resumen para responsables de políticas*. Ginebra, Suiza: OMM/PNUMA. 27p.
- Guevara, E., y Paredes, F. (2007). Influencia de variables macroclimáticas sobre el régimen pluviométrico en el estado Cojedes, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, 14 (3), 49-56.
- Hare, F. K., y Ogallo, J. A. (1993). Climate variations, drought and desertification. WMO No. 653, Ginebra.
- Hernández, R. (2008). *Caracterización de la sequía meteorológica en los climas Árido, Semiárido y Subhúmedo seco en los Llanos Centro Orientales de Venezuela, para el manejo de los recursos hídricos*. Trabajo de Grado. Centro de Investigación y Postgrado. UNEFA-CIP. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, Maracay, Venezuela.
- Ibarra, E., y Mendoza, N. (2004). Caracterización de la sequía meteorológica en la Cuenca Alta del Río Guárico. En: *VII Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola*. Octubre, 2004. Maracay, Venezuela.
- INFOSTAT. (2008). Infostat for Windows Version 9.0. Grupo Infostat. Inc. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad. Nacional de Córdoba. Argentina.
- Instituto Nacional de Estadística. INE. (2011a). XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. Síntesis Estadística Estatal. Recuperado de:

[http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=116&Itemid=10](http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=116&Itemid=10)

- Instituto Nacional de Estadística. INE. (2011b). Informes geo-ambientales por estados de la República Bolivariana de Venezuela. Recuperado de: [http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com\\_content&view=category&id=68&Itemid=49](http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com_content&view=category&id=68&Itemid=49)
- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. INIA. (2014). Aproximación agroecológica para el nuevo modelo de producción agrícola en Venezuela. Recuperado de: <http://www.inia.gob.ve/index.php/institucional-inia/agricultura-familiar>
- Javelle, P., Ouarda, M. J., y Bobée, B. (2003). Flood regime definition using the flood-duration frequency approach: Application to the Provinces of Quebec and Ontario, Canada. *Hydrological Processes*, 17(18), 3717–3736.
- Komuscu, A. (1999). Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey. *Drought Network News*, 11(1), 7-13.
- La Cruz, F., Guevara, E., y Paredes, F. (2014). Caracterización de las sequías meteorológicas en los llanos de Venezuela utilizando un análisis regional de frecuencias. *Revista Ingeniería UC*, 21(1), 70 – 76.
- Lapinel, B., y Báez, R. (2007). Sistema de diagnóstico y vigilancia regional de la sequía. En: Eduardo O. Planos Gutiérrez, Lorena Menéndez Fernández-Cueto, Erika Meerhoff (Eds.) UNESCO-PHI *Memorias de la V Conferencia Mundial Proyecto FRIEND AMIGO para América Latina y el Caribe*. La Habana, Cuba. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001567/156791s.pdf>
- Maracara, L. (2007). *Evaluación del efecto de la sequía meteorológica sobre el caudal medio del Río Tuy para un periodo de tiempo de 25 años (1951-1975)*. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Martelo, M. T. (2000). Estudio sobre la posible influencia del fenómeno El Niño - Oscilación del sur (ENOS) sobre el clima de los llanos de Venezuela. En: OMM (Ed.), Reunión de expertos de las asociaciones regionales AR-III y AR-IV sobre fenómenos adversos (pp. 111-118). Ginebra: OMM
- Martelo, M. T. (2003). *Influencia de las variables macroclimáticas en el clima de Venezuela*. Caracas: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Dirección General de Cuencas Hidrográficas, Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanía. 72p.
- Martelo, M. T. (2004). *Consecuencias ambientales generales del Cambio Climático en Venezuela*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Departamento de Ingeniería Agrícola. Maracay, Aragua, Venezuela.

- Mckee, T., Doesken, N., y Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *En: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, 17-22 January 1993, Anaheim, California, USA. American Meteorological Society.
- Mendoza M. y Puche M. (2007). Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela. *Rev. Fac. Agron*, 24 (4), 661-678.
- Mendoza N., Méndez M. y Lobo D. (2007). Influencia de la capacidad de almacenamiento del suelo en la evaluación de la sequía agrícola. *En: VII Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola*. Octubre 2007. Maracay, Venezuela.
- Microsoft. (1996). Visual Fox Pro. Manual del Programador. Versión 5.0. Microsoft Corporation.
- Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales. MARN. (2004). Programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas: Editorial Fundambiente. 106p. Recuperado de <http://www.unccd.int/ActionProgrammes/venezuela-spa2004.pdf>
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. MARN. (2005). *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Caracas: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Fondo Mundial para el Medio Ambiente y Fundambiente. 134p.
- Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras. MPPAT. (2008). VII Censo Agrícola Nacional de Venezuela. Recuperado de: <http://censo.mat.gob.ve/>
- Ministerio de Agricultura y Cría. MAC. (1985). Anuario Estadístico Agropecuario. Caracas: MAC.
- National Drought Mitigation Center. NDMC. (2006). What is Drought? USA: University of Nebraska. Recuperado de: [http://www.drought.unl.edu/ndmc\\_redirect.htm](http://www.drought.unl.edu/ndmc_redirect.htm)
- National Drought Mitigation Center. NDMC. (2015). Sitio web oficial del National Drought Mitigation Center. USA: University of Nebraska. Recuperado de: <http://drought.unl.edu>
- Núñez, L. D. (2013). *Variabilidad de la sequía meteorológica de largo plazo en la parte mexicana de la cuenca del Río Bravo*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad De Ciencias Forestales, México. Recuperado de: <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080253510.pdf>
- Olivares, B., Cortez, A., Parra, R., Rodríguez, M., y Guevara, E. (2013). Aplicación de procedimientos estadísticos para el control de calidad de las series de precipitación mensual de los llanos orientales venezolanos. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 30 (3): 367-391.
- Organización Meteorológica Mundial. OMM. (2006). Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros. Información meteorológica y climática para el desarrollo agrícola sostenible. Suiza: OMM-N° 1006. 26p.

- Ortega-Gaucin, D., y Velasco, I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. *Aqua-LAC*, 5 (2), 78 – 90.
- Ovalles, F., Cortez, A., Rodríguez, M., Rey, J., y Cabrera-Bisbal, E. (2008). Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. *Agronomía Trop*, 58 (1), 37 – 40.
- Paredes, F., Millano, J. L., y Guevara, E. (2008). Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. *Revista de Climatología*, 8, 15–27.
- Paredes, F., Rumbo, L., Guevara, E., y Carballo, N. (2006). Caracterización histórica de las sequías extremas del Río Tirgua en el estado Cojedes. *Revista de Ciencia y Tecnología Agrollanía*, 3, 101-113.
- Paredes, F., y Guevara, E. (2010). Desarrollo y evaluación de un modelo para predecir sequías meteorológicas en Los Llanos de Venezuela. *Revista Bioagro*, 22 (1), 3-10.
- Paredes, F., La Cruz, F., y Guevara, E. (2014). Análisis regional de frecuencia de las sequías meteorológicas en la principal región cerealera de Venezuela. *Revista Bioagro*, 26 (1), 21-28.
- Parra, R., y Cortez, A. (2005). Control de calidad de series de precipitación de las series de precipitación del INIA Venezuela en el periodo 1970-2000. *Rev. Arg. de Agrometeorología*, (5-6): 63-73.
- Rey, J. C., Rodríguez, M. F., Cortez, A., y Núñez, C. (2000). *Informe Final del Proyecto 02-603-4007: Integración, manejo y aplicación de los datos agroecológicos en un sistema de información*. Maracay: INIA - CENIAP
- Rodríguez, M.F., Rey, J.C., Núñez, M. C., Cortez, A., Salazar, R., y Romero, B. (2003). Conozca el Sistema de Información de las Áreas Agroecológicas de Venezuela. *Revista CENIAP HOY*, (3) septiembre-diciembre, 1-4.
- Rodríguez, M.F., y Rey, J.C. (2004). *Delimitación de zonas frágiles de Venezuela. (Mimeografiado)*. Maracay: INIA-CENIAP.
- Serio, L., Martin, P., y Murphy, G. (2010). Evaluación de una metodología de pronóstico estadístico para la condición hídrica del suelo en la región pampeana argentina. *Agriscientia*, XXVII, 11-17.
- Sevruk, B. (1989). Precipitation measurement. Proceedings of the International Workshop on Precipitation Measurement, St. Moritz, Switzerland, 3-7 December, 1989. Institute of Geography, Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich, WMO/TD-No.32, Geneva, 589p.

- Sheffield, J., Andreadis, K.M., Wood, E.F., y Lettenmaier, D. P. (2009). Global and continental drought in the second half of the twentieth century: severity–area–duration analysis and temporal variability of large-scale events. *Journal of Climate*, 22 (8), 1962-1981.
- Sneyers, R. (1990). On the statistical analysis of series of observations. WMO-Nº 415, Technical Note Nº143. Ginebra, Suiza. 192p.
- Thom, H. (1958). A note on the Gamma distribution. *Monthly Weather Review*, 86, 117-122.
- Thom, H. (1971). Some methods of climatological analysis. Nota técnica No 81, OMM No 199, TP 103, Secretaría de la OMM, Ginebra, Suiza, pp. 1-11.
- Velasco, I., Ochoa, L., y Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Revista Región y Sociedad*, XVII (34), 35-71.
- Wilhite, D. A. (1997). *Improving drought management in the West. The Role of mitigation and preparedness*. USA: National Drought Mitigation Center, Utah State University. Elusive Documents. Paper 71. 46p.
- Wilhite, D.A. (2000). Drought as a natural hazard. En: Wilhite, D.A. (Ed.), *Drought: A Global Assessment* (pp: 3-18). London, UK: Routledge Publishers.
- Wilhite, D.A., y Glantz, M.H. (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10, 111:120.
- Wu H., Hayes M.L., Wilhite D.A., Svoboda, M.D. (2005). The effect of the length of record on the Standardized Precipitation Index calculation, *Int. J. Climato*, 25, 505-520.
- Wulfmeyer, V., y Henning-Müller, I. (2005). The climate station of the University of Hohenheim: Analyses of air temperature and precipitation time series since 1878. *Int. J. Climatol.* 26, 113-138.
- Young, K. (1992). A three–way model for interpolating for monthly precipitation values. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 2561-2569.
- Yue, S., y Pilon, P. (2004). A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection. *Hydrological Sciences*, 49(1), 21–37.